



TUGAS AKHIR TF 141581

**PERANCANGAN *ACTIVE FAULT TOLERANT CONTROL*
PADA SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL SEPARATOR*
DI PETRONAS MURIAH LTD DENGAN KESALAHAN
PADA SENSOR DAN AKTUATOR**

**CITRA SYAHRAHUL WALIJAH
NRP 2415 105 016**

**Dosen Pembimbing
Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT TF 141581

***DESIGN FAULT TOLERANT CONTROL IN
SEPARATOR LEVEL ATPETRONAS MURIAH
LTD WITH FAULT AT THE SENSOR AND
ACTUATOR***

***CITRA SYAHRAHUL WALIJAH
NRP 2415 105 016***

***Supervisor
Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T***

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017***

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**“PERANCANGAN ACTIVE FAULT TOLERANT CONTROL
PADA SISTEM PENGENDALIAN LEVEL SEPARATOR DI
DI PETRONAS MURIAH LTD DENGAN KESALAHAN PADA
SENSOR DAN AKTUATOR”**

Oleh :

Citra Syahrahl Walijah
NRP. 2415 105 016

Surabaya, Juli 2017
Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Dr. Katherin Indriawati, ST, MT.
NIP. 19760523 200012 2 001

**Ketua Departemen
Teknik Fisika FM-ITS**



Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

**PERANCANGAN *ACTIVE FAULT TOLERANT*
CONTROL PADA SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL*
SEPARATOR DI DI PETRONAS MURIAH LTD
DENGAN KESALAHAN PADA SENSOR DAN
AKTUATOR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada


Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


CITRA SYARAHUL WALIJAH
2415 105 016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Katherin Indriawati, ST, MT.

 (Pembimbing)

2. Hendra Cordova, S.T., M.T.

 (Ketua Penguji I)

3. Dr. Rer. nat. Ir. Aulia M. T Nasution M. Sc

 (Penguji 1)

SURABAYA
JULI 2017

**PERANCANGAN *ACTIVE FAULT TOLERANT*
CONTROL PADA SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL*
SEPARATOR DI PETRONAS MURIAH LTD
DENGAN KESALAHAN PADA SENSOR DAN
AKTUATOR**

Nama Mahasiswa : Citra Syahrahal Walijah
NRP : 2415 105 016
Jurusan : Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T

Abstrak

Tugas Akhir ini berkaitan dengan masalah kesalahan level transmitter dan aktuator pada Separator di Petronas Muriah Ltd. Kesalahan tersebut menggunakan system control PI yang telah terpasang, oleh karena itu dalam makalah ini digunakan sebuah sistem *Active Fault Tolerant Control* (AFTC) untuk mengakomodasi kedua jenis kesalahan tersebut. Langkah awal yang dilakukan adalah pembuatan simulasi dengan MATLAB dari proses yang sama seperti yang ada di real plant. Metode rekonfigurasi sinyal kontrol yang digunakan untuk merancang active fault tolerant control adalah dengan pemberian sinyal kompensasi yang tidak merupakan sinyal estimasi kesalahan sensor dan aktuator dengan menggunakan observer. Kesalahan yang diberikan berupa kesalahan bias dan sensitivitas yang merupakan karakteristik statik dari sensor dan kesalahan kebocoran untuk aktuator. Hasil simulasi yang didapatkan menunjukkan bahwa *active fault tolerant control* yang dibangun dapat mengakomodasi kesalahan sensor dengan lebih baik dibandingkan sistem kontrol PI konvensional.

Kata kunci: *active fault tolerant control*, Separator, pengendalian PI

**DESIGN FAULT TOLERANT CONTROL IN
SEPARATOR LEVEL AT PT. PETRONAS
MURIAH LTD WITH FAULT AT THE SENSOR
AND ACTUATOR**

Name : Citra Syhrahul Walijah
Student Number : 2415 105 016
Department : Engineering Physics
Supervisor : Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T

Abstract

This final project deals with transmitter and actuator level error issues at Separator at Petronas Muriah Ltd. The error uses an installed PI control system, therefore in this paper an Active Fault Tolerant Control (AFTC) system is used to accommodate both types of errors. The first step is to make a simulation with MATLAB from the same process as in real plant. The control signal reconfiguration method used to design the active fault tolerant control is by providing a compensation signal which is not an estimation signal of the sensor and actuator error by using the observer. The error provided is a bias error and a sensitivity that is a static characteristic of the sensor and leakage error for the actuator. The simulation results show that the built-in active fault tolerant control can accommodate sensor error better than conventional PI control system.

Keywords: active fault tolerant control, Separator, PI control

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, rasa syukur atas segala limpahan rahmat, kesehatan, keselamatan, dan ilmu yang Allah SWT berikan kepada penulis hingga mampu menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul:

DESIGN FAULT TOLERANT CONTROL IN SEPARATOR LEVEL AT PT. PETRONAS MURIAH LTD WITH FAULT AT THE SENSOR AND ACTUATOR

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, tidak terlepas dari semua pihak yang turut membantu baik moril maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta ST, M,Si, PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS
2. Ibu Katherin Indriawati S.T, M.T, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, memberikan saran dan kritiknya.
3. Mas Khamim yang senantiasa membantu penulis.
4. Bapak Amien Tohari Amd, selaku pembimbing lapangan yang telah membimbing dan memfasilitasi selama pengambilan data.
5. Teman-teman LJ Teknik Fisika Angkatan 2015 , terutama sahabat (firda, dian, aul, fia, nyak, lufi, tepek, ade, aling, oky, mas ican, rima, hikma, ervin, .jessie, dicky, fabio) yang senantiasa memberikan semangat dan motivasinya.
6. Orang tua saya, serta saudara saya mas Fadol mbak wiwid, yang selalu berdo'a untuk kebaikan kami

Demikian laporan tugas akhir ini dibuat dengan sebaik-baiknya. Semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak, khususnya untuk kemajuan industri di Indonesia.

Surabaya, Juni 2016
Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Sistematika Laporan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Separator	5
2.2 Sistem Kontrol pada Separator	6
2.3 <i>Level Transmitter</i>	7
2.4 <i>Control Valve</i>	9
2.5 <i>Active Fault Tolerant Control</i>	10
2.5.1 <i>Observer State</i>	12
2.5.2 <i>Penentuan Gain Observer</i>	14
2.5.3 <i>Rekonfigurasi Kontrol</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Metodologi	17
3.2 Pengambilan Data Plant	19
3.3 Pemodelan Matematis system	20
3.3.1 Pemodelan Matematis Plant (Separator)	20
3.3.2 Pemodelan Matematis Aktuator	23
3.3.3 Pemodelan Matematis level Transmitter	24
3.4 Perancangan Controller	25
3.5 Perancangan AFTC	27

3.5.1	Perancangan <i>Observer</i>	27
3.6	Validasi <i>Observer</i>	31
3.6.1	Rekonfigurasi Kontrol	33
3.7	Uji Performansi	34

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN 37

4.1	Uji Kesalahan Sensor	37
4.2	Uji Performansi KesalahanAktuator	42
4.3	Uji Performansi Kesalahan Sensor dan Aktuator	48
4.4	Uji <i>Tracking Set Point</i>	49
4.5	Uji <i>Noise</i>	50

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 53

5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

P&id*Separator*

LAMPIRAN B

Data Pengukuran Level Separator Pada Tanggal 20 November 2016 di Petronas Muriah Ltd.

LAMPIRAN C

Hasil Perancangan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pemisahan Minyak dan Gas	5
Gambar 2.2	Diagram Blok <i>PI controller</i>	6
Gambar 2.3	Diagram Block Pengendalian Level	7
Gambar 2.4	Differential Pressure transmitter	8
Gambar 2.5	control Valve ATO dan ATC	10
Gambar 2.6	Struktur <i>Active Fault Tolerant Control</i>	12
Gambar 2.7	<i>Observer state</i>	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Tugas Akhir	18
Gambar 3.2	Respon Open Loop	25
Gambar 3.4	Hasil Respon plant	27
Gambar 3.5	Hasil Estimasi <i>Observer Plant</i> (\hat{x}) Level	32
Gambar 3.6	Hasil Estimasi Observer Plant ΔX	32
Gambar 3.7	Diagram Blok Program Sistem <i>Reconfigurable Control</i> menggunakan perangkat lunak matlab R2013a untuk kesalahan Sensor dan Aktuator	34
Gambar 3.8	Hasil Perbandingan Residual dengan Kesalahan Sensor Pada Variabel pengukuran <i>Level</i>	34
Gambar 3.9	Hasil Perbandingan Residual dengan Kesalahan Aktuator Pada Variabel pengukuran <i>Level</i>	35
Gambar 4.1	Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 95,7%	38
Gambar 4.2	Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 94,8%	38
Gambar 4.3	Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 93,9%	39
Gambar 4.4	Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas	39

	92.2%	
Gambar 4.5	Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 10%	42
Gambar 4.6	Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 10%	43
Gambar 4.7	Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 20%	43
Gambar 4.8	Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 20%	44
Gambar 4.9	Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 30%	44
Gambar 4.10	Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 30%	45
Gambar 4.11	Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 40%	45
Gambar 4.12	Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 40%	46
Gambar 4.13	<i>Respon Pengendalian Level dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%</i>	47
Gambar 4.14	Respon Tracking Pengendalian Level dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%	49
Gambar 4.15	Perbesaran Respon <i>Tracking</i> Pengendalian Level dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%	50
Gambar 4.16	Respon Uji <i>Noise</i> Pengendalian Level dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	<i>Data Pemodelan Plant Beradsarkan Data Lapangan</i>	19
Tabel 3.2	Data Pemodelan <i>Plant</i> Beradsarkan Data Desain <i>Separator</i>	20
Tabel 3.3	parameter tuning Ziegler Nichols	26
Tabel 3.4	Kesalahan yang Terjadi Pada Sensor	35
Tabel 4.1	Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 95,7%	40
Tabel 4.2	Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 94,8%	39
Tabel 4.3	Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias +0,5% dan Sensitivitas 93,9%	40
Tabel 4.4	Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias +0,5% dan Sensitivitas 92,2%	41
Tabel 4.5	Parameter Performansi dengan Kebocoran 10%	46
Tabel 4.6	Parameter Performansi dengan Kebocoran 20%	47
Tabel 4.7	Parameter Performansi dengan Kebocoran 40%	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Petronas Muriah Ltd. merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang industri minyak dan gas yang berada di Lapangan Kepodang Blok Muriah. Pemrosesan minyak dan gas memerlukan beberapa tahapan hingga menghasilkan gas yang siap untuk dijual kepada konsumen atau biasa disebut dengan *sales gas*.

Gas bumi terdiri dari komponen hidrokarbon yaitu metana, etana, propana, butana dan sedikit pentana plus. Disamping itu gas bumi juga mengandung komponen bukan hidrokarbon, misalnya uap air (H_2O). Dilihat dari sumbernya, terdapat dua jenis gas bumi yakni *dry gas* dan *associated gas*. *Associated gas* adalah gas yang keluar dari bumi bercampur dengan minyak bumi. Gas dan minyak tersebut harus segera dipisahkan, karena cara penanganan minyak dan gas bumi berbeda. Proses pemisahan dapat dilakukan menggunakan proses separasi. (Untoro & Suparno, 2013)

Porses separasi atau porses pemisahan gas pada pengolahan gas di Petronas Muriah Ltd dilakukan untuk memisahkan gas murni dan liquid dengan berdasarkan densitasnya menggunakan separator. Mengikuti hukum alam tentang pemisahan berdasarkan densitas, gas akan berada di atas kolom/separator, sedangkan liquid yang terdiri dari campuran kondensat dan air akan berada di bawah kolom.

Prinsip kerja separator yakni fluida yang berasal dari manifold akan masuk ke separator melalui lubang inlet dan selanjutnya akan menabrak inlet diverter. menggunakan prinsip centrifugal dalam pemisahannya, gaya centrifugal inilah yang nantinya mendorong fluida ke dinding, sehingga liquid nantinya

tertumbuk dan jatuh ke bawah sementara gas akan terlewatkan ke bagian ouletnya. (Wang, 2000)

Kerja dari Separator akan dipengaruhi oleh *level* dan tekanan untuk menjaga kemurnian gas. Jika *level liquid* pada separator memiliki ketinggian yang melebihi ketinggian yang diizinkan maka liquid akan tercampur dengan gas, tetapi pada saat liquid berada di *level* yang terendah maka gas akan tercampur ke liquid.

Salah satu penyebab trip adalah kesalahan pembacaan pada sensor dalam hal ini adalah *level transmitter* pada sistem pengendalian *level separator*. Pada pengambilan data bulan Oktober dan November pada tahun 2016, terjadi 2 kali kesalahan pembacaan transmitter, sedangkan kesalahan aktuator berupa kesalahan kebocoran terjadi pada bulan Agustus dan September pada tahun yang sama. Hal tersebut yang melatar belakangi penulis melakukan penelitian terkait metode kontrol guna menanggulangi atau menolerir kesalahan pembacaan pada transmitter dan aktuator ketika proses berjalan.

Kesalahan sensor tersebut dapat disebabkan oleh kesalahan sensitivitas dan perubahan range (bias) transmitter. Sedangkan kesalahan aktuator dapat disebabkan kesalahan mekanik. Diharapkan AFTC mampu menoleransi malfungsi yang terjadi pada sistem pengendalian *level separator* dan mampu menghasilkan respon pengendali yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI biasa.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang sebuah sistem FTC yang mampu mengakomodasi kesalahan sensor *level* dan aktuator pada pengendalian *level* di separator dengan tetap menggunakan kontroler yang sudah ada?
2. Bagaimana performansi siste FTC tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

- *Fault* yang terjadi adalah pada pengendalian *level* di *Separator* yaitu pada sensor dan *actuator*.
- Kesalahan sensor yang ditinjau adalah ketidaksesuaian pembacaan (bias) dan sensitivitas sensor
- Kesalahan aktuator yang ditinjau adalah kebocoran pada control valve yang mereduksi laju aliran input ke *separator*
- *Controller* yang terpasang pada *separator* yaitu pengendalian PI
- Pemodelan Plant hanya meninjau pada kesetimbangan massa di separator
- Data yang diambil sbelum hingga terjadinya trip pada bulan Agustus sampai November pada tahun 2016.

1.4 Tujuan Penelitian

tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah : merancang *fault tolerant control* dengan menggunakan *metode Active* pada pengendalian *Level Separator* dengan kesalahan pada sensor dan actuator .

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika laporan.

BAB II DASAR TEORI

Berisi tentang pengertian dan proses *separator*, sistem *control* pada *separator*, *level transmitter*, *active fault tolerant control* dan perancangannya.

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang langkah-langkah perancangan kontrol PI dan *active fault tolerant control* dengan simulasi pada program MATLAB R2013

BAB IV ANALISA DATA DAN SARAN

Berisi tentang analisis hasil perancangan *active fault tolerant control* dibandingkan dengan hasil perancangan kontrol konvensional.

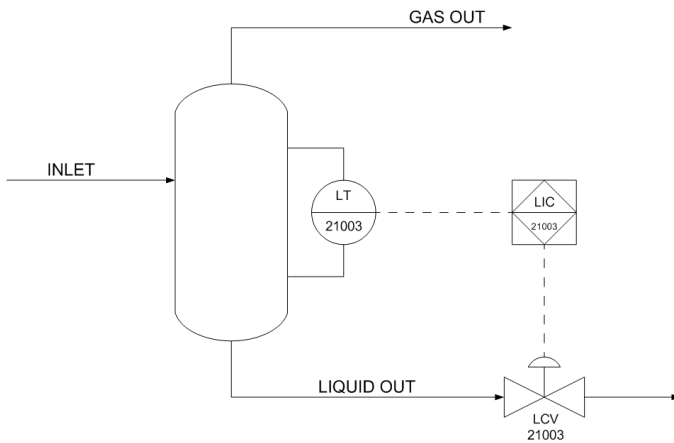
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan hasil yang didapatkan setelah dilakukan perancangan *active fault tolerant control* dan saran.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Separator

Separator adalah bejana tekan yang digunakan untuk memisahkan campuran fluida berdasarkan perbedaan densitasnya. Mengikuti hukum alam tentang pemisahan berdasarkan densitas, maka gas akan berada di atas cairan. Dan pada umumnya, minyak atau kondensat akan berada di atas air (Rubiandini, 2001)



Gambar 2. 1 Proses Pemisahan Minyak dan Gas

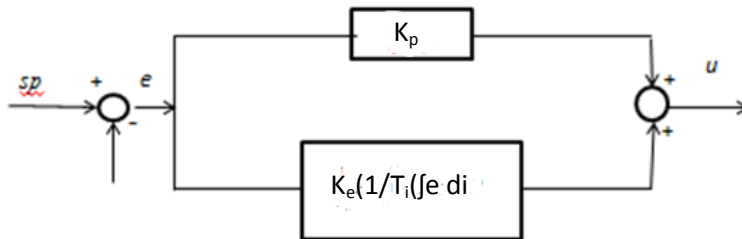
Pengendalian Level pada separator dilakukan untuk menjaga ketinggian level liquid didalam separator tetap berada daerah yang di izinkan jika level liquid pada separator memiliki ketinggian yang melebihi ketinggian yang dizinkan maka liquid akan tercampur dengan gas,tetapi pada saat liquid berada di level yang terendah maka gas akan tercampur ke liquid.

2.2 Sistem Kontrol pada Separator

Sistem kontrol pada separator ini menggunakan PI controller sebagai pengendaliannya. PI (*Proportional Integral*) merupakan gabungan dari dua unit pengendali yaitu P dan I, maka kelebihan dan kekurangan yang ada pada pengendali P dan pengendali I juga ada pada pengendali PI, seperti pada persamaan PI sebagai berikut:

$$0 = K_c \left(e + \frac{1}{T_i} \int e \cdot dt \right) + B \quad (2.1)$$

Sifat pengendali P yang meninggalkan offset ditutupi oleh kelebihan pengendali I, sedangkan sifat pengendali I yang lambat ditutupi oleh pengendali P, sehingga pengendali PI menghasilkan respon yang lebih cepat dari pengendalian I tapi mampu menghilangkan offset yang ditinggalkan pengendali P.

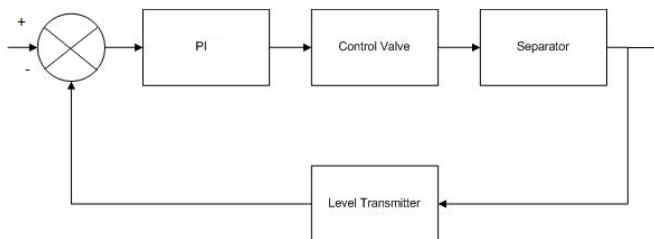


Gambar 2. 2 Diagram Blok PI controller

Kontrol *proportional* digunakan sebagai penguat atau pembesar sinyal sehingga dapat mencapai *set point* atau hasil yang diinginkan. Namun penggunaan control *proportional*

menghasilkan efek yaitu maximum overshoot yang cukup besar karena itu adanya kontroler integral untuk mengurangi adanya maximum overshoot namun settling time untuk mencapai nilai kestabilan dari suatu sistem lebih lama dibandingkan dengan proportional.

Beberapa parameter dalam kontroler yang juga harus diketahui dalam suatu sistem closed loop yaitu overshoot, settling time dan error steady state. Overshoot adalah peak level lebih tinggi dari keadaan steady state. Settling time adalah waktu yang dibutuhkan sistem untuk sistem menjadi stabil.



Gambar 2. 3 Diagram Block Pengendalian Level

2.3 Level Transmitter

Level transmitter berfungsi untuk mendeteksi tingkat zat yang mengalir, Jenis *level* transmitter yang digunakan di Petronas Muriah LTD adalah differential pressure transmitter, seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 2. 4 Differential Pressure Transmitter

Differential pressure transmitter, bekerja berdasarkan 2 prinsip beda tekanan. *Transmitter* yang banyak digunakan untuk mengukur ketinggian suatu fluida didalam tangki adalah *differential pressure transmitter (DP transmitter)*. Prinsip kerja *DP –Transmitter* berdasarkan keseimbangan gaya dua masukan yang berbeda tekanan atau yang biasanya disebut *Hidrostatic Head*.. Prinsip pembacaan perbedaan tekanan di dalam tangki tergantung pada nilai high pressure (HP) dan low pressure (LP) pada tapping point yang telah ditentukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa DP transmitter mengukur tekanan hydrostatic dari fluida yang ada di dalam tangki dan hydrostatic head dinyatakan dalam tekanan dengan persamaan :

$$\Delta P = P_{high} - P_{low} \quad (2. 1)$$

$$\Delta P = \rho_1 \cdot g_1 \cdot h_1 - \rho_2 \cdot g_2 \cdot h_2 \quad (2.2)$$

Dimana:

P_{head} : Tekanan hidrostatik (mmH₂O)

ρ : Densitas Fluida (kg/m³)

- g : Konstanta Grvitasi (m/s^2)
 h : Level Fluida (m)

Differential Pressure (DP) transmitter berkerja berdasarkan selisih perbedaan tekanan antara sisi high dan low. Karena tekanan yang menjadi parameter utama dari transmitter, tentu saja density yang bervariasi akan mempengaruhi pembacaan transmitter yang berkerja berdasarkan perbedaan tekanan. Kesalahan sensitivitas pada level transmitter biasanya disebabkan karena adanya keausan pada DP transmitter sehingga menurunkan sensitivitas dari transmitter tersebut.

2.4 Control Valve

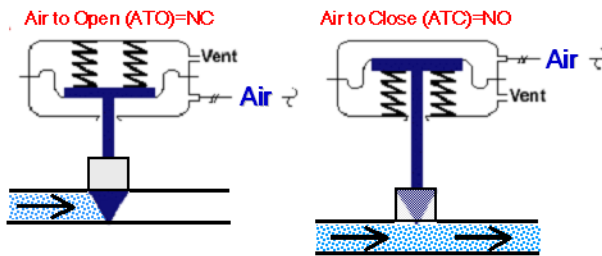
Control valve bertugas melakukan langkah koreksi terhadap variabel termanipulasi sebagai hasil akhir dari system pengendalian. *Control valve* merupakan salah satu elemen pengendali akhir (*final element control*) yang paling umum digunakan. Berdasarkan aksinya *control valve* dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- *Air to Close* (ATC)

ATC adalah kondisi posisi *valve* yang secara normal terbuka (*open*) dan ketika mendapatkan sinyal kendali (4 – 20 mA atau 3 – 15 psi) posisi *valve* menutup secara proporsional dengan sinyal kendali tersebut.

- *Air to Open* (ATO)

ATO adalah kondisi posisi *valve* yang secara normal tertutup (*close*) dan ketika mendapatkan sinyal kendali (4 – 20 mA atau 3 – 15 psi) posisi *valve* membuka secara proporsional dengan sinyal kendali tersebut.



Gambar 2.5 control Valve ATO dan ATC

Pemilihan aksi *control valve* dilakukan melalui prosedur HAZOP atau sebelum sistem pengendalian dipasang pada proses operasi. Kesalahan pemilihan aksi *control valve* berakibat fatal terutama ketika berkaitan dengan keselamatan proses maupun *equipment*. (Marsellina, 2016).

2.5 Active Fault Tolerant Control

Fault Tolerant Control adalah kontrol sistem yang mampu mentoleransi kegagalan dalam sistem untuk meningkatkan keandalan dan kinerja yang dari suatu sistem. Kontrol sistem ini sering disebut dengan *Fault Tolerant Control System* (FTCS). FTCS dapat diklasifikasikan pada 2 tipe, yaitu *Passive Fault Tolerant Control System* (PFTCS) dan *Active Fault Tolerant Control System* (AFTCS). PFTCS dirancang untuk mempertahankan sistem dari kegagalan yang terjadi. Sedangkan AFTCS bereaksi terhadap kegagalan komponen dengan merekonfigurasi aksi kontrol sehingga kestabilan dan kinerja pada sistem dapat dijaga. AFTCS dapat juga disebut *Fault Detection and Identification (Diagnosis)*. Tujuan utama dari FTCS adalah merancang kontroller dengan struktur yang cocok untuk mencapai kestabilan. Tidak hanya ketika kontrol komponen berfungsi

secara normal tetapi juga ketika terjadi kegagalan pada komponen yang lain. (Zhang, Youmin; Jiang, Jin., 2008)

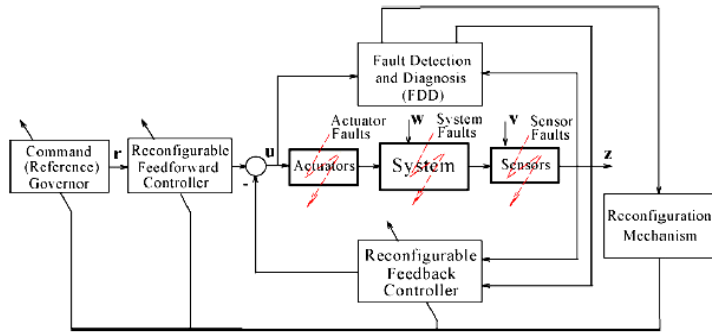
Menurut Zhang dan Jiang (2008), *active fault tolerant control* terdiri atas empat sub sistem, yaitu:

- (1) *Reconfigurable Controller (RC)*
- (2) *Fault Detection Diagnosis (FDD) Scheme*
- (3) Mekanisme RC
- (4) *Command Reference Actuator*.

FDD dan RC pada keseluruhan struktur sistem adalah perbedaan utama dari *active fault tolerant control* dibandingkan dengan *passive fault tolerant control*. Tahapan dalam perancangan *active fault tolerant control* adalah sebagai berikut (Indriawati, Agustinah, & Jazidie, 2013):

- a. merancang kontroller yang dapat direkonfigurasi,
- b. dilakukan perancangan *observer* untuk mengestimasi kesalahan aktuator dan/atau sensor
- c. merancang skema FDD dengan sensitivitas yang tinggi terhadap kegagalan dan *roobust* terhadap ketidakpastian model, kondisi operasi yang variatif serta gangguan eksternal, FDD digunakan untuk mengetahui besarnya kesalahan yang terjadi pada sistem tersebut
- d. merancang mekanisme rekonfigurasi yang sebisa mungkin mampu memulihkan performansi sistem setelah terjadi kesalahan meskipun terdapat ketidakpastian dan *delay time* pada *fault detection*.

Struktur umum dari *active fault tolerant control system* dapat dilihat pada Gambar 2.6. Sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Struktur Active Fault Tolerant Control (Zhang, Youmin; Jiang, Jin;, 2008)

2.5.1 Observer State

Observer adalah suatu algoritma yang digunakan mengestimasi keadaan (state) sistem berdasarkan model matematis sistem. Selain itu observer juga digunakan untuk mengestimasi kesalahan yang terjadi pada sistem. Mengingat bahwa multivariable linier plant dengan output hasil pengukuran dan noise direpresentasikan sebagai berikut (Gao, Zhiwei; Wang, Hong;, 2005);

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2.3)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (2.4)$$

Dimana:

A= matriks pada *state*

B= matriks pada kontrol *input*

C= matriks pada hasil pengukuran

x = *state*

u = kontrol *input*

D = matriks Nilai keluaran

Model matematis observer sama seperti model matematis pada system sehingga observer dapat mengestimasi keadaan system dalam bentuk persamaan runag keadaan. untuk mengompensasi diperlukan kesalahan actuator dan kesalahan sensor dalam waktu yang bersamaan. akibat dari kesalahan sensor dan actuator diekspresikan sebagai penambahan masukan yang tidak diketahui, dimana matriks tersebut bertindak pada system dinamik dan pengukuran seperti di representasikan pada persamaan (2.5) dan persamaan (2.6).

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + F_a f_a(t) \quad (2.5)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) + F_s f_s \quad (2.6)$$

Dimana:

F_a = Matriks kesalahan aktuator

F_s = Matriks kesalahan sensor

f_a = Vector kesalahan aktuator

f_s = Vector kesalahan sensor

Dari kedua persamaan tersebut dapat didefinisikan menjadi persamaan baru sebagai berikut :

$$\dot{z}(t) = Az(y - z) \quad (2.7)$$

$$\dot{z}(t) = Az(Cx(t) + F_s f_s(t)) \quad (2.8)$$

Untuk A_z merupakan matriks identitas (I) untuk $A_z \in I^q$, sedangkan matriks dari kesalahan sensor dan actuator didefinisikan sebagai $f = \begin{bmatrix} f_a \\ f_s \end{bmatrix}$

Dari persamaan (2.8) dan (2.5) dapat didefinisikan matriks yang akan digunakan untuk mendapatkan matriks yang sudah di ekspansi. Persamaan tersebut ditunjukkan pada persamaan (2.9).

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{z}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ A_z & -A_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} F_a & 0 \\ 0 & A_z * F_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_a \\ f_s \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$Aa = \begin{bmatrix} A & 0 \\ A_z * C & -A_z \end{bmatrix}, Ba = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}, Ca = \begin{bmatrix} 0 & C \end{bmatrix},$$

$$Ea = \begin{bmatrix} F_a & 0 \\ 0 & A_z * F_s \end{bmatrix}$$

Untuk memperoleh nilai dari gain observer maka dilakukan perluasan kembali dengan menggunakan persamaan ruang keadaan baru yang ditunjukan pada persamaan (2.11).

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}(t) \\ \ddot{f}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Aa & Ea \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{f} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Ba \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} L_x \\ L_f \end{bmatrix} [Ca \ 0] (Y - \tilde{Y}) \quad (2.10)$$

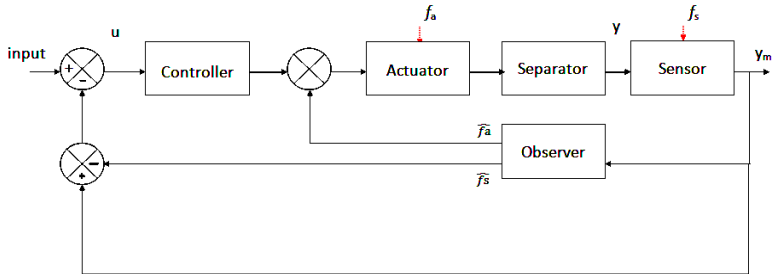
$$\tilde{Y} = [Ca \ 0] \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{f} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.5.2 Penentuan Gain Observer

Perbedaan kondisi error merupakan perbedaan antara keadaan awal dan keadaan awal estimasi, didefinisikan pada persamaan (2.14) skema observer juga ditunjukan dengan diagram blok yang ditunjukan pada gambar (2.7)

$$\tilde{x}(t) = A\tilde{x} + Bu + K_{\tilde{e}}(Y - \tilde{y}) \quad (2.14)$$

tetap beroperasi. Mekanisme rekonfigurasi dirancang agar sebisa mungkin mampu memulihkan performansi system setelah terjadi kesalahan meskipun terdapat ketidakpastian dan waktu tunda fault detection. Gambar 2.7. akan menunjukkan skema rekonfigurasi kontrol (y) (Noura, 2009).



Gambar 2.8 Skema Rekonfigurasi Kontrol

Pada Gambar 2.7. menunjukkan bahwa *estimation compensation* dan *fault diagnosis* adalah bagian dari *observer*. *Fault diagnosis* bertujuan untuk mendefinisikan kesalahan dengan mendapatkan informasi dari sinyal hasil pengukuran. Selanjutnya informasi diteruskan menuju *estimation compensation* untuk menestimasi kesalahan dengan mendapat sinyal referensi dari sinyal control. Dengan demikian *estimation compensation* dan *fault diagnosis* akan mendapat input berupa sinyal control (u) dan sinyal hasil pengukuran (y).

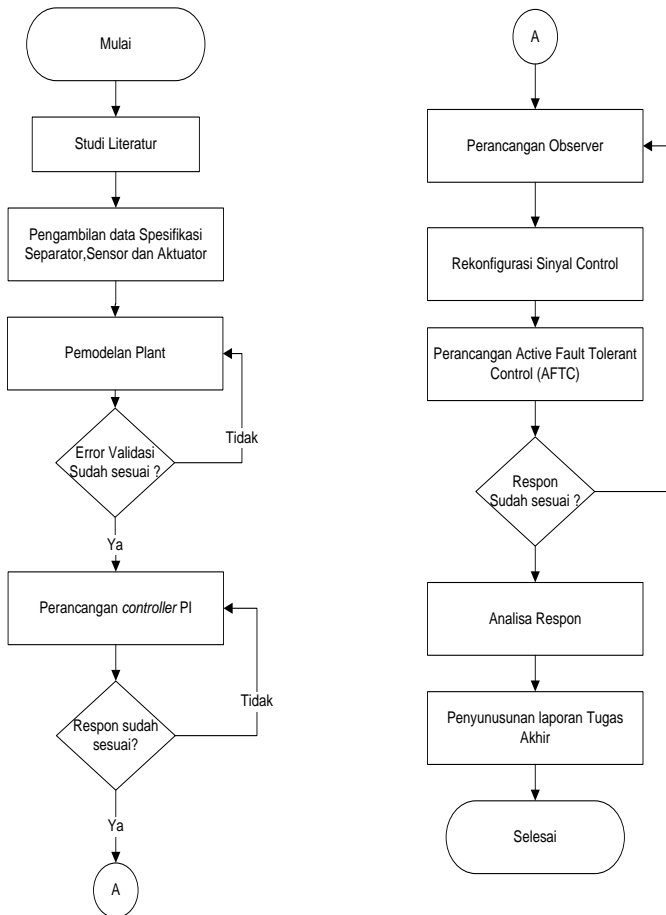
BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi

Metodologi yang digunakan untuk mencapai tujuan dari tugas akhir ini dijelaskan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1 yang mendeskripsikan tahap-tahap penelitian sebagai berikut.

- a. Pengambilan data spesifikasi *Separator* , sensor dan aktuator meliputi data besaran *input* dan *output* pada *Separator* , sensor dan aktuator. Pengambilan data dilakukan di Petronas Muriah Ltd. Pengambilan data mengenai kesalahan aktuator dilakukan di bagian *maintenance* di Petronas Muriah Ltd.
- b. Pemodelan *Separator*, sensor dan aktuator didapatkan dari data yang telah diambil. Pemodelan *Separator*, sensor dan aktuator di simulasikan pada fitur *simulink* pada perangkat lunak *Matlab R2013a*. Untuk memastikan model yang dibuat merepresentasikan *plant* yang sesungguhnya, jika validasi proses sudah mencapai *error* <5% maka dapat diasumsikan bahwa permodelan sudah merpresentasikan *plant*, jika *error* masih kurang lebih dari 5% maka perbaikan model dilakukan jika hasil yang dibuat tidak merepresentasikan *plant* yang sesungguhnya.
- c. Simulasi sistem pengendalian *loop* tertutup pada fitur *simulink* di perangkat lunak *Matlab R2013a*, dengan menggunakan algoritma PI pada kontroler. Pada kontroller diberikan nilai parameter P dan I. Nilai parameter P dan I didapatkan dengan menggunakan metode *eksperimen* untuk mendapatkan hasil respon dari kontroler, dengan mendapatkan parameter Kp, Ti .



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas Akhir

- d. Perancangan *Observer* dilakukan dengan menerjemahkan matriks ruang keadaan dari persamaan differensial matematis dari rekonfigurasi sinyal kontrol untuk meninjau kesesuaian apakah matriks persamaan ruang keadaan yang sudah dihasilkan oleh *observer* sudah merepresentasikan *plant*

yang akan dirancang. AFTC dirancang dengan memberikan kesalahan pada sensor dan aktuator sekaligus mengkompensasi sinyal pada sistem sehingga AFTC dapat memperbaiki sinyal kesalahan yang diberikan secara otomatis. Perbaikan *observer* dilakukan apabila respon tidak sesuai yang ditinjau dari ketidakstabilan respon system.

- e. Analisis respon berdasarkan uji performansi sistem dengan kontrol menggunakan algoritma AFTC dan tanpa algoritma AFTC dengan memberikan simulasi kesalahan pada sensor dan aktuator berupa kesalahan bias dan sensitivitas untuk sensor sedangkan untuk kesalahan aktuator berupa kebocoran.
- f. Penyusunan laporan tugas akhir.

3.2 Pengambilan Data Plant

Pengambilan data spesifikasi *Separator* , sensor dan aktuator meliputi data besaran *input* dan *output* pada *Separator* , sensor dan aktuator. Pengambilan data dilakukan di Petronas Muriah Ltd. Pengambilan data mengenai kesalahan aktuator dilakukan di bagian *maintenance* di Petronas Muriah Ltd.

Tabel 3.1 . Data pemodelan plant beradsarkan data lapangan

Notasi	Keterangan	Nilai dan Satuan
H_{\max}	Level maksimum	2.765 m
H_{\min}	Level Minimum	0.35 m
Q_{in}	Flowrate input liquid	2.13764 m ³ /s
ρ_{liquid}	<i>Massa jenis liquid</i>	415 Kg/m ³

Tabel 3. 2 Data pemodelan Pplant berdasarkan data desain
separator

Notasi	Keterangan	Nilai dan Satuan
$D_{\text{separator}}$	Diameter separator	1.85 m
L	Tinggi Tangki	5.6 m

3.3. Pemodelan Matematis system

Untuk mengetahui respon suatu sistem melalui simulasi, dilakukan pemodelan matematis dari sistem tersebut, meliputi pemodelan matematis *plant*, sensor atau transmitter, pemodelan unit kontrol, dan pemodelan matematis actuator.

3.3.1 Pemodelan Matematis Plant (Separator)

Untuk memodelkan plant yang berupa *separator* ini digunakan hukum kesetimbangan massa. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah massa yang masuk ke dalam system sebanding dengan jumlah massa yang keluar dari sistem serta massa yang terakumulasi dalam sistem itu sendiri. Dengan menggunakan persamaan hukum kesetimbangan massa, maka proses pada *Separator* dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \text{laju} \\ \text{perubahan} \\ \text{massa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{input} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{output} \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan hukum kesetimbangan massa maka model matematis *separator* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} \quad (4.1)$$

Dengan :

$$\rho \frac{dV}{dt} \quad : \text{laju perubahan massa separator}$$

$$\sum \dot{m}_{in} \quad : \text{total laju massa masukan (input)}$$

$$\sum \dot{m}_{out} \quad : \text{total laju massa keluaran (output)}$$

Pada input separator berupa fasa campuran yang terdiri dari 99% gas metana dan 0.1% air. Kemudian kedua fasa tersebut dipisah berdasarkan densitasnya. Untuk level air dilakukan pengendalian untuk menjaga agar air tersebut tidak tercampur dengan gas.

Apabila $V = A \times h$ dan $\dot{m} = \rho_{liquid} \times Q$ maka :

$$\rho_{liquid} A \frac{dh}{dt} = \sum \rho_{liquid} Q_{in} - \sum \rho_{liquid} Q_{out} \quad (2.2)$$

Karena nilai ρ_{liquid} memiliki nilai yang sama dapat dihilangkangkan sehingga persamaan menjadi :

$$A \frac{dh}{dt} = (Q_{in} - Q_{out})_L \quad (3.3)$$

Dengan :

V : Volume separator (m³)

A : luas penampang Separator

$$: \frac{\pi d^2}{4}$$

$$: 2.686 \text{ m}^2$$

h : Ketinggian / *level* (m)

Q_{in} : Flowrate liquid input (m^3/s)

Q_{out} : Flowrate liquid output (m^3/s)

ρ : 415 kg/m^3

Sehingga dari persamaan 3.3 dapat diubah dalam bentuk laplace sebagai berikut :

$$AsH(S) = (Q_{in} - Q_{out}) \quad (3.4)$$

$$H(s) = \frac{1}{As} (Q_{in}(s) - Q_{out}(s))$$

$$H(s) = \frac{1}{2.686s} (Q_{in}(s) - Q_{out}(s))$$

Dengan nilai Q_{out} didapatkan dari persamaan :

$$\Delta Q_{out} = 0.00228 \sqrt{\frac{\Delta P_{LCV}}{\gamma_L}} \times \frac{\Delta C_v}{\Delta x} \quad (3.5)$$

Dimana:

ΔP_{LCV} : Tekanan liquid yang keluar

: 25 Psi

γ_L : *Specific gravity liquid*

: 1

$\frac{\Delta C_v}{\Delta x}$: koefisien *flow*

: 0.0016

3.3.2 Pemodelan Matematis Aktuator

Aktuator yang digunakan adalah *Level Control Valve*. *Level control valve* yang digunakan dengan tipe *I/P Converter* yang mengubah sinyal input 4-20 mA menjadi sinyal *pneumatic* 3-15 psi, dan akan mengoperasikan *level control valve*, LCV-21003B. Dalam hal ini, *level control valve* memiliki masukan sinyal berupa arus listrik kemudian diubah menjadi tekanan untuk menggerakkan *control valve*

pemodelan aktuator yang mengubah arus (4mA-20 mA) menjadi tekanan (3 psi-15 psi) untuk menggerakkan aktuator Dengan nilai H maksimum sebesar 6,675 dan H minimum sebesar 0.35 m, adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta p_c(s)}{\Delta E_c(s)} = \frac{P_{v\max} - P_{v\min}}{Arus_{\max} - Arus_{\min}} \quad (3.6)$$

$$\frac{\Delta p_c(s)}{\Delta E_c(s)} = \frac{15 - 3}{20 - 4} = 0.75$$

Transfer Function dari pneumatic line delay adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta p_v}{\Delta p_c} = \frac{1}{\tau_o s + 1} \quad (3.7)$$

$$\frac{\Delta p_v}{\Delta p_c} = \frac{1}{0.2s + 1}$$

τ_0 : konstanta waktu aktuator (0.2 sekon)

Transfer Function dari respon control valve adalah sebagai berikut :

$$\frac{\Delta x(s)}{\Delta p_v(s)} = \frac{100}{\frac{p_v \text{ max} - p_v \text{ min}}{C_o s + 1}} \quad (3.8)$$

$$\frac{\Delta x(s)}{\Delta p_v(s)} = \frac{100}{\frac{15 - 3}{2s + 1}}$$

C_o : konstanta waktu control valve (2 sekon)

3.3.3 Pemodelan Matematis level Transmitter

Sensor dari *level* yang digunakan adalah *Differential Pressure Transmitter*, yaitu suatu alat yang berfungsi untuk mengukur tekanan didalam *separator* dengan memanfaatkan perbedaan tekanan. transmitter ini mengubah input berubah level menjadi arus. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{I(s)}{H(s)} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}} \quad (3.9)$$

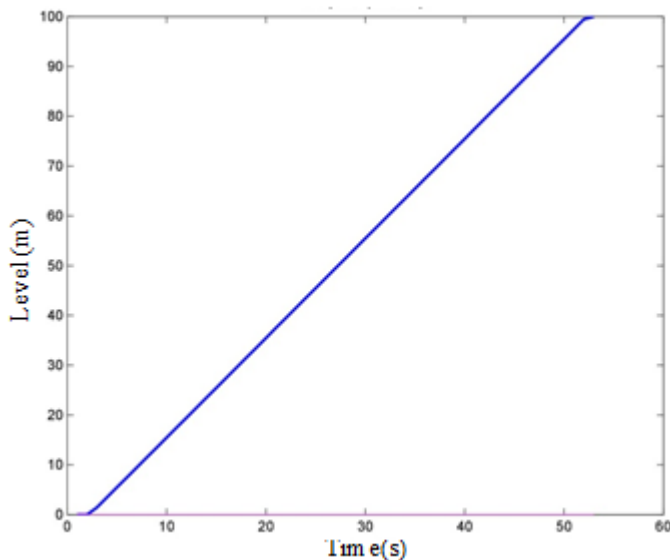
Dimana nilai H maksimum sebesar 6.675 dan H minimum sebesar 0.35 m, dan I minimum sebesar 4 mA sehingga:

$$\frac{I(s)}{H(s)} = \frac{20 - 4}{6.675 - 0.35}$$

$$\frac{I(s)}{H(s)} = 6.625$$

3.4 Perancangan Controller

Dalam sistem pengendalian *level* pada *separator* respon dilihat respon *open loop* dan *closed loop* yang telah dibuat dalam *software Simulink 2013*. Respon open dianalisa untuk memastikan sistem tersebut dapat dikontrol atau tidak. Berikut Berikut hasil grafik analisa open loop tanpa pengendali dari plant yang telah dibuat di *software simulink* ;



Gambar 3.2 Grafik Open loop

Untuk analisa closed disini menggunakan pengendalian dasar PI (Proportional Integral) dengan cara menentukan nilai K_p , dan T_i yang paling stabil dengan maximum overshoot tidak besar namun settling time yang cukup cepat. Disini untuk mendapatkan nilai yang stabil menggunakan metode tuning Ziegler Nichols. Pada tuning Ziegler Nichols mempunyai dua metode yaitu metode osilasi dan metode kurva. Tuning yang dilakukan disini menggunakan metode osilasi. Langkah pertama

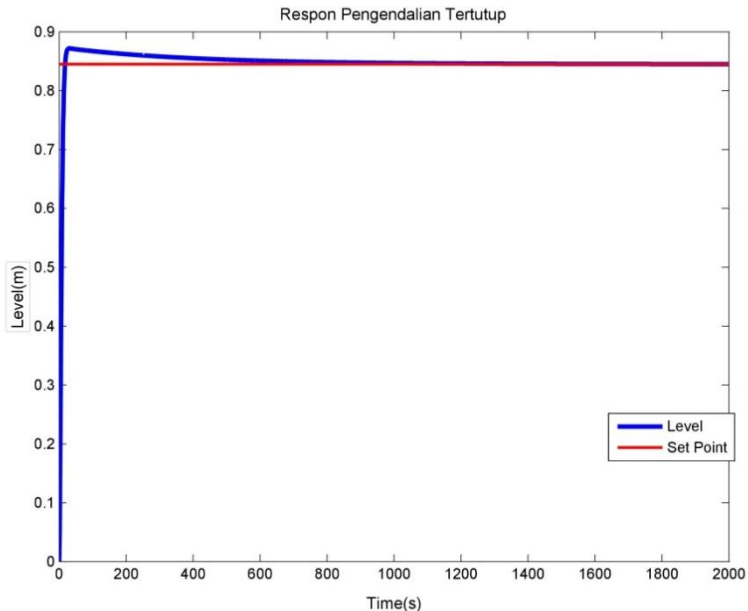
yang dilakukan adalah mentuning sistem agar mencapai osilasi yang stabil dengan amplitudo yang sama tiap lembahnya, dari tuning yang dilakukan didapatkan nilai K_{cr} atau biasanya disebut dengan gain kritis. Dengan mendapatkan gain kritis kemudian dimasukkan ke parameter tuning ziegler nichols. Didapatkan nilai K_{cr} dan P_{cr} sebesar 375 dan 1.2 sehingga dimasukan ke parameter tuning Ziegler Nichols pada tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3.3 parameter tuning Ziegler Nichols

Parameter Control	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	\sim	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

Hasil tuning yang didapatkan dengan nilai K_p sebesar 170 dan nilai T_i sebesar 1.2.

Berikut hasil dari tuning yang dilakukan dengan parameter tuning Ziegler Nichols ;



Gambar 3.4 Hasil Respon plant

3.5 Perancangan *Active Fault Tolerant Control (AFTC)*

Terdapat dua perancangan yang akan dilakukan dengan mendesain *Observer* dengan menggunakan dua parameter variabel pengukuran, yang pertama adalah dengan menggunakan parameter *level* dan bukaan *Valve* Tujuan dari memakai variasi dari dua parameter tersebut untuk membandingkan performansi kontrol yang telah diberikan kesalahan dan bagaimana rekonfigurasi yang dapat dilakukan oleh sistem apabila diberikan kesalahan aktuator dan sensor.

3.5.1 Perancangan *Observer*

Perancangan *Observer* dengan variabel terukur *level* dan bukaan valve dengan cara membuat nilai dari pemodelan masing

masing block dalam domain waktu kedalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\frac{dP_{\text{pneumatic}_{line}}(t)}{dt} = 3.75u(t) - 5P_{\text{pneumatic}_{line}}(t) \quad (3.7)$$

$$\frac{d\Delta x(t)}{dt} = 4.165P_{\text{pneumatic}_{line}}(t) - 0.5\Delta x(t) \quad (3.8)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = 2.45Q_{in} - 2.45Q_{out} \quad (3.9)$$

Ketiga persamaan tersebut dibuat kedalam bentuk matriks ruang keadaan dengan mengacu persamaan (2.3) seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} \frac{dP_{line}}{dt} \\ \frac{d\Delta x}{dt} \\ \frac{dh}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 \\ 4.166 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{line} \\ \Delta x \\ h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.45 & 2.45 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ Q_{in} \\ Q_{out} \end{bmatrix}$$

Sehingga dari persamaan matriks diatas diperoleh nilai nilai sebagai berikut :

$$A = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 \\ 4.166 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 3.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.372 & 0.372 \end{bmatrix}$$

Sedangkan persamaan matriks output didapatkan berdasarkan persamaan (2.4) sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta x}{dt} \\ \frac{dh}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_{line} \\ \Delta x \\ h \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_c \\ Q_{in} \\ Q_{out} \end{bmatrix}$$

Sehingga didapatkan nilai nilai sebagai berikut:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

Dengan mempertimbangkan kesalahan transmitter dan actuator(control valve) maka persamaan matriks keadaan yang mengacu pada persamaan (2.5)-(2.6) maka didapatkan bentuk matriks sebagai berikut:

$$F_a = \begin{bmatrix} 3.5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad F_s = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Seperti yang dijelaskan pada persamaan (2.8) maka bentuk dari matriks ruang keadaan dapat diekspansi menjadi :

$$A_a : \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4.166 & -0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$B_a : \begin{bmatrix} 3.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.45 & 2.45 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C_a = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, E_a = \begin{bmatrix} 3.5 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Agar dapat mendefinisikan gain observer maka matriks ruang keadaan di ekspansi lagi menggunakan persamaan (2.10) dan (2.11) menjadi:

$$\tilde{A}_a = \begin{bmatrix} -5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.75 & 0 \\ 4.166 & -0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{C}_a = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan gain observer dilakukan dengan menggunakan formula Auckerman dengan persamaan sebagai berikut :

$$[sI - \tilde{A}_a] = \begin{bmatrix} s+5 & 0 & 0 & 0 & 0 & -3.75 & 0 \\ -4.166 & s+0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & s+1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & s+1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & s \end{bmatrix}$$

Sehingga nilai α sebagai berikut :

$$s^7 + 12s^6 + 46s^5 + 60s^4 + 25s^3$$

$$\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 12, \alpha_3 = 46, \alpha_4 = 60, \alpha_5 = 25$$

Untuk mencari nilai α didapatkan dengan mencari nilai pole placement sebagai berikut:

Pole ke 1= -4.3788 + 0.0000i

Pole ke 2= -0.9751 + 2.8119i

Pole ke 3= -0.9751 - 2.8119i

Pole ke 4= -1.4796 + 0.0000i

Pole ke 5= -0.6057 + 1.8804i

Pole ke 6= -0.6057 - 1.8804i

Pole ke 7= -0.00011 + 0.0000i

Kemudian dimasukan dalam persamaan akar-akar menjadi:

$$(s+4.3)(s+0.97)(s+0.9)(s+0.6)(s+0.6)(s+0.001)$$

Didapatkan persamaan kuadrat menjadi :

$$s^7 + 7.46s^6 + 17.28s^5 + 17.7s^4 + 8.3s^3$$

$$a_1 = 1, a_2 = 7.4, a_3 = 17.28, a_4 = 17.7, a_5 = 8.3$$

Sehingga gain observer dapat diselesaikan menggunakan persamaan:

$$[K_e] = Q \begin{bmatrix} \alpha_n - \alpha_n \\ \alpha_{n-1} - \alpha_{n-1} \\ \dots \\ \alpha_1 - \alpha_1 \end{bmatrix} = (WN^T)^{-1} \begin{bmatrix} \alpha_n - \alpha_n \\ \alpha_{n-1} - \alpha_{n-1} \\ \dots \\ \alpha_1 - \alpha_1 \end{bmatrix}$$

Dengan :

$$Q = (WN^T)$$

$$N = [\check{C}_a : \check{A}_a \check{C}_a]$$

$$W = \begin{bmatrix} \alpha_{n-1} & \alpha_{n-1} & \dots & \alpha_1 & 1 \\ \alpha_{n-1} & \alpha_{n-1} & \dots & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \vdots & \dots & \dots \\ \alpha_1 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

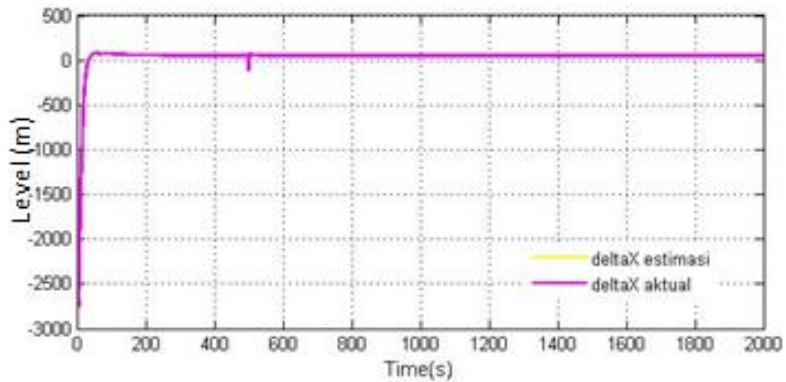
dari persamaan diatas didapatkan nilai *gain observer* bernilai sebagai berikut.

$$K_e = \begin{bmatrix} 0.2243 & 11.5639 & 0 & 1.30861 & 0 & 3.6734 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0011 & 0 & 0.2115 & 0 & 3.9027 \end{bmatrix}$$

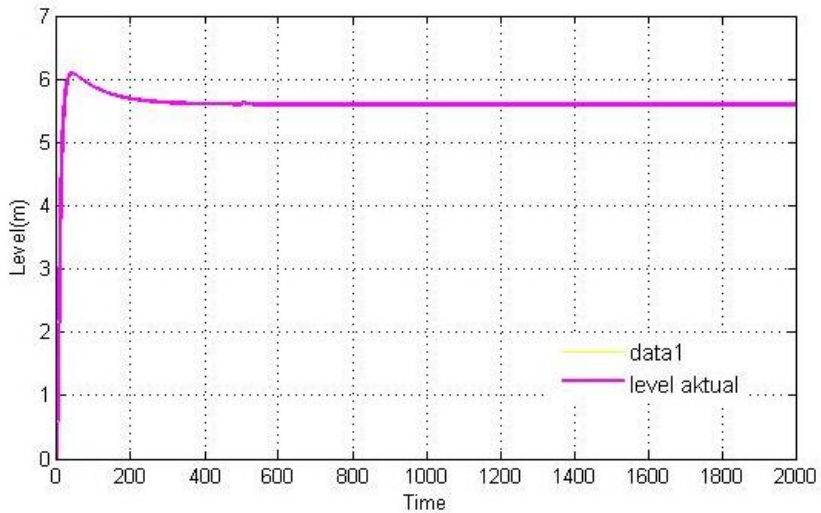
3.6 Validasi Observer

Dalam memvalidasi *Observer* untuk mengecek apakah *Observer* berupa hasil estimasi *plant* (\hat{x}) yang dibuat telah sesuai

dengan plant yang telah dirancang ditunjukkan pada gambar 3.5-3.6 sampai dengan gambar 3.11.



Gambar 3.5 Hasil Estimasi *Observer Plant* (\hat{x}) Level



Gambar 3.6 Hasil Estimasi *Observer Plant* (\hat{x}) ΔX

3.6.1 Rekonfigurasi Kontrol

Pengaturan ulang sistem kendali dengan metode kompensasi digunakan untuk mengakomodir kesalahan sehingga sistem tetap dapat beroperasi dengan stabil atau sesuai *setpoint* ketika terjadi kesalahan

Untuk kesalahan pada sensor, kompensasi menggunakan persamaan

$$Y_m = Y - f_s \quad (3.10)$$

untuk kesalahan pada aktuator, kompensasi menggunakan persamaan

$$U_m = U - f_a \quad (3.11)$$

dengan :

Y_m = nilai sebenarnya

Y = nilai pengukuran yang mengandung kesalahan

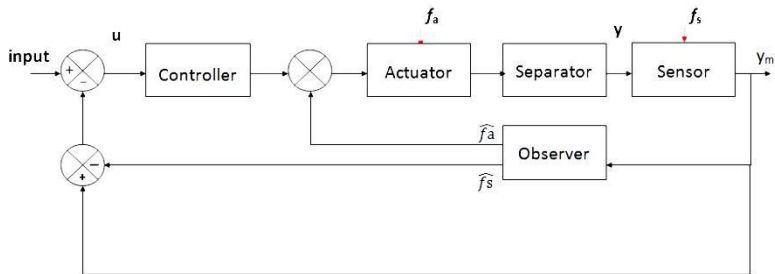
f_s = Kesalahan sensor

U_m = nilai sebenarnya

U = nilai masukan yang mengandung kesalahan

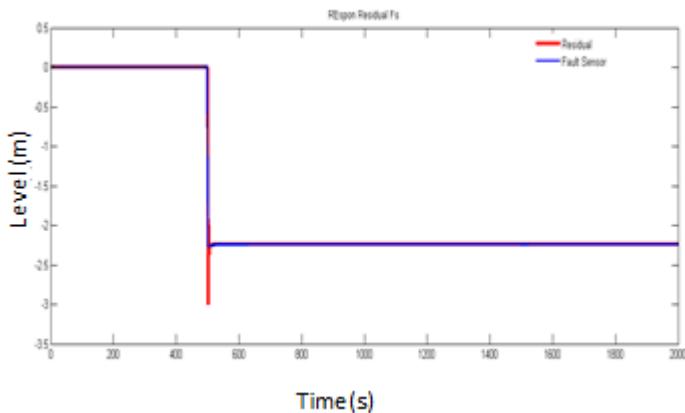
f_a = kesalahan aktuator

Berdasarkan persamaan (3.10) dan (3.11), perancangan skema blok simulasi *reconfigurable control* pada perangkat lunak matlab R2013a akan tampak pada Gambar 3.7

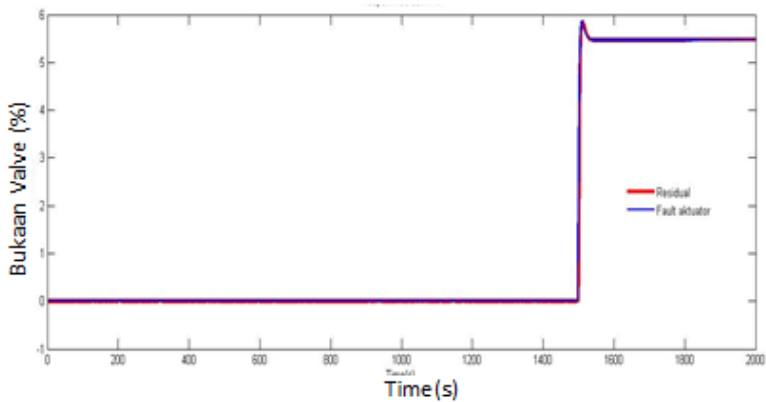


Gambar 3.7 Diagram Blok Program Sistem *Reconfigurable Control* menggunakan perangkat lunak matlab R2013a untuk kesalahan Sensor dan Aktuator

Untuk mengecek apakah *observer* sudah dapat melakukan kompensasi maka, perlu dilakukan perbandingan antara kondisi residual dan kondisi daripada f_s dan f_a , apabila kedua grafik tersebut sudah selaras antara f_a dan f_s bersama nilai residualnya, seperti yang dijelaskan pada gambar 3.8 dan 3.9, untuk sistem dengan variabel pengukuran *level* yang sudah diberikan kesalahan sensor dan aktuator.



Gambar 3.8 Hasil Perbandingan Residual dengan Kesalahan Sensor Pada Variabel pengukuran *Level*



Gambar 3.9 Hasil Perbandingan Residual dengan Kesalahan Aktuator Pada Variabel pengukuran *Level*

3.7 Uji Performansi

Uji performansi dilakukan untuk menguji algoritma AFTC yang telah dibuat dapat berjalan dengan baik atau tidak. Uji ini dilakukan dengan memberikan suatu kesalahan pada sensor dan aktuator. Kesalahan yang diberikan berupa kesalahan bias, sensitivitas, dan kebocoran.

Pada Pengendalian Level di Separator terdapat kesalahan sistem instrumen yang ditunjukkan pada tabel 4.1 yang menunjukan kalibrasi yang dilakukan pada *level transmitter* selama 5 bulan , kalibrasi dilakukan karena pembacaan indikasi yang kurang tepat dilihat dari kesesuaian input dan output dari data proses, dimana data proses terekam pada sistem terdistribusi (DCS).

Tabel 3.4 Kesalahan yang Terjadi Pada Sensor

No	Kalibrasi Level Transmitter				
	<i>Tanggal</i>	<i>Range</i>	<i>Deviasi</i>	<i>Ketidak Akurasian</i>	<i>Catata</i>
1	1-Jan-16	0-3105 mm	3,3%	$\pm 0,5\%$	Kondisi Baik Setelah dikalibrasi
2	13-Mar- 16	0-3105 mm	5,2%	$\pm 0,5\%$	
3	12-Mei- 16	0-3105 mm	7,8%	$\pm 0,5\%$	
4	4-juni- 16	0-3105 mm	6,1%	$\pm 0,5\%$	
5	5-Sept- 16	0-3105 mm	4,3%	$\pm 0,5\%$	

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

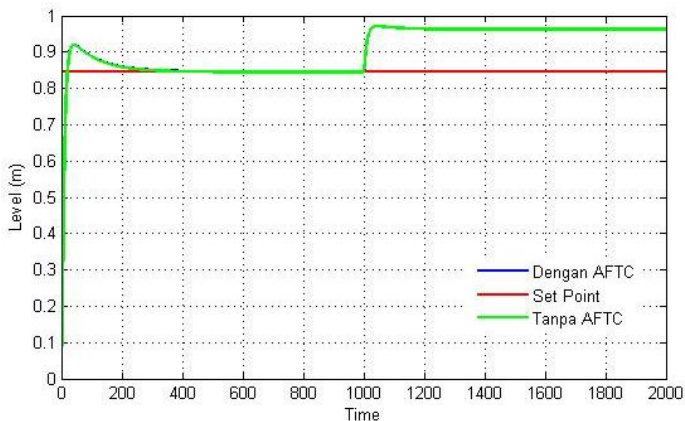
4.1 Uji Kesalahan Sensor

Uji kesalahan sensor disini bertujuan untuk mengetahui algoritma Fault Tolerant Control untuk kesalahan sensor yang telah dibuat bisa berjalan dengan benar atau tidak jika ada kesalahan yang diberikan. Kesalahan disini berupa kesalahan bias dan sensitivitas.

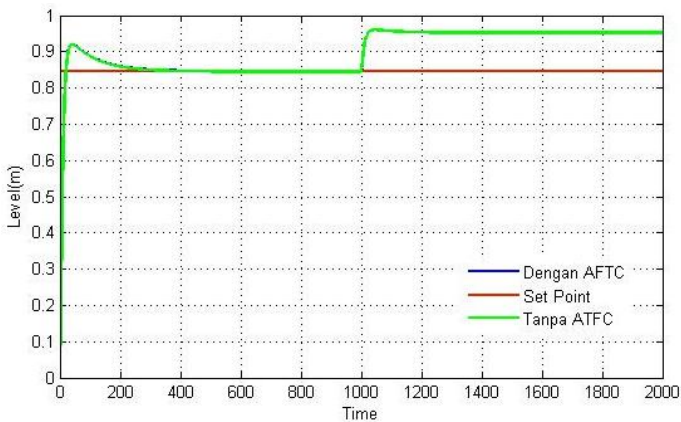
Uji Kesalahan sensor dilakukan pada hasil simulasi dengan pengujian kesalahan yang merepresentasikan *real-plant*, dari tabel 4.2 diatas ditunjukkan bahwa ketidak akurasian dari *level transmitter* sebesar $\pm 0,5\%$, sehingga memungkinkan terjadi kesalahan bias dari *level transmitter* mencapai angka $0\%-0,5\%$, dalam uji kesalahan sensor pengujian dilakukan dengan memberikan bias maksimalnya yaitu $-0,5\%$ atau $+0,5\%$.

Kesalahan bias akan digabungkan dengan kesalahan sensitivitas dari sensor, sensitivitas menunjukkan kepekaan kuantitas yang diukur oleh sensor, pada tabel 4.1 ditunjukkan deviasi yang menunjukkan kesalahan pembacaan pada sensor, dengan kata lain deviasi dapat digunakan sebagai sensitivitas dari sensor. Pada tabel 4.1 ditunjukkan deviasi maksimal yang ditunjukkan oleh tabel bernilai $7,8\%$ artinya sensitivitas sensor bernilai $92,2\%$.

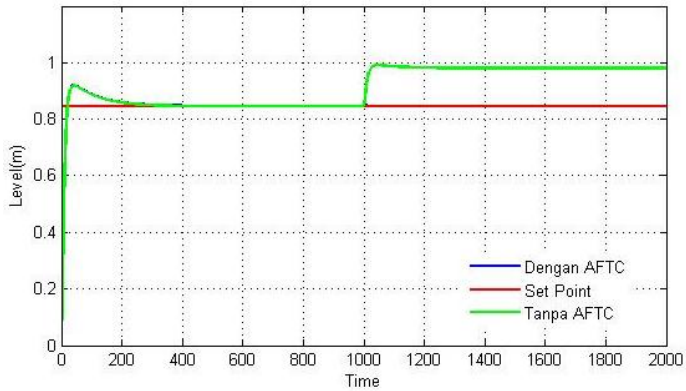
Respon pengendalian level *plant* Separator ditunjukkan pada gambar 4.1-4.4.



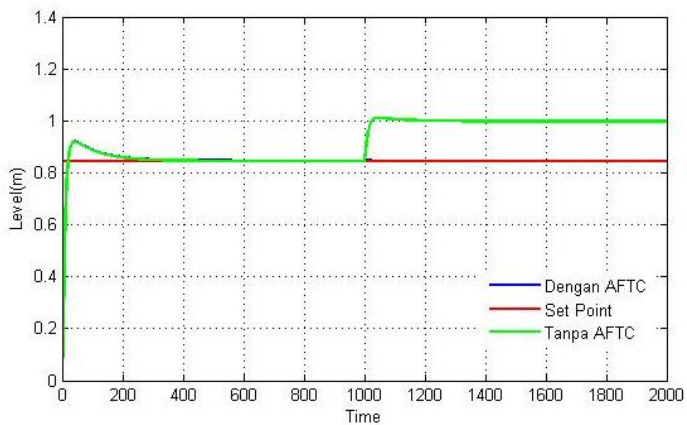
Gambar 4.1 Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 95,7%



Gambar 4.2 Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 94,8%



Gambar 4.3 Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 93.9%



Gambar 4.4 Respon Pengendalian Level dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 92.2%

Berdasarkan gambar 4.1-4.4, didapatkan performansi kontrol pada tabel 4.3-4.6.

Tabel 4. 1 Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 95,7%

No	Parameter	PI tanpa AFTC	PI dengan AFTC
1	<i>Maximum Overshoot</i>	14.9%	0%
2	<i>Maximum Undershoot</i>	0%	0%
3	<i>Error Steady State</i>	8%	0.076%
4	<i>Setling Time</i>	~	33 detik
5	<i>Integral Absolute Error (IAE)</i>	16.1	0.9

Tabel 4.2 Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 94,8%

No	Parameter	PID tanpa AFTC	PID dengan AFTC
1	<i>Maximum Overshoot</i>	15.6%	0%
2	<i>Maximum Undershoot</i>	0%	0%
3	<i>Error Steady State</i>	10%	0.077%
4	<i>Setling Time</i>	~	33 detik
5	<i>Integral Absolute Error (IAE)</i>	17.6	0.9

Tabel 4.3 Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 93,9%

No	Parameter	PI tanpa AFTC	PI dengan AFTC
1	<i>Maximum Overshoot</i>	17.22%	0%
2	<i>Maximum Undershoot</i>	0%	0%
3	<i>Error Steady State</i>	11%	0.076%
4	<i>Setling Time</i>	~	33 detik
5	<i>Integral Absolute Error (IAE)</i>	20.3	0.9

Tabel 4.4 Parameter Performansi dengan Kesalahan Bias -0,5% dan Sensitivitas 92,2%

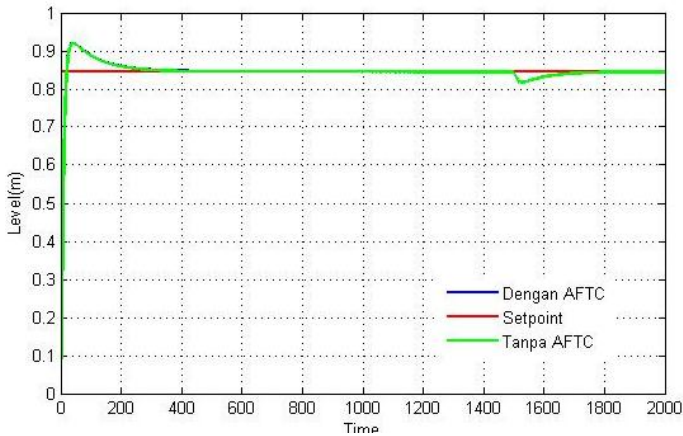
No	Parameter	PI tanpa AFTC	PI dengan AFTC
1	<i>Maximum Overshoot</i>	19.66%	0%
2	<i>Maximum Undershoot</i>	0%	0%
3	<i>Error Steady State</i>	13%	0.76%
4	<i>Setling Time</i>	~	33 detik
5	<i>Integral Absolute Error (IAE)</i>	23.1	0.9

Pada gambar 4.1-4.4 dan tabel 4.1-4.1 dapat dilihat bahwa kesalahan sensor pada sistem pengendalian level Separator dapat di kompensasi menggunakan sistem kontrol PI dengan menggunakan algoritma AFTC, performansi respon sistem pengendalian level tersebut ditunjukkan oleh tabel 4.1-4.4 memiliki *maximum overshoot* yang cukup tinggi yaitu, 14,9%, 15,6%, 17,22% dan 19,66%, *Maximum Overshoot* sendiri merupakan puncak tertinggi yang dapat dicapai oleh respon sistem, apabila *maximum overshoot* tinggi hingga mencapai 156% akan menyebabkan sistem trip karena sudah melebihi batas *High Level Alarm* walaupun durasi dari sistem hanya berjalan 1 detik. Dari respon yang didapatkan, pengendalian yang menggunakan AFTC mencapai set point yang telah ditentukan, sedangkan untuk pengendalian yang hanya menggunakan control PI melebihi dari set point Hal ini disebabkan oleh aksi kontrol yang bekerja berdasarkan pembacaan yang terukur sehingga menurunkan level yang sebenarnya menjadi tidak mencapai set point. Pada pengendalian tanpa AFTC nilai *settling time yang infinity* atau tak terhingga disebabkan respon setelah diberi kesalahan sensor tidak mencapai *set point*.

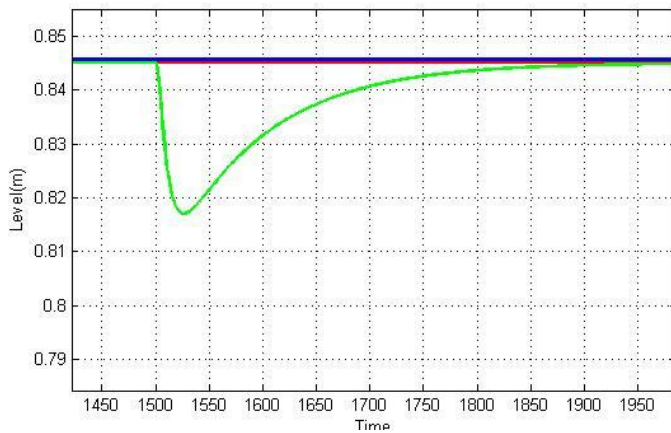
4.2 Uji Performansi Kesalahan Aktuator

Pada uji kesalahan aktuator, kesalahan yang merepresentasikan *real plant* adalah kebocoran, sistem diberikan kesalahan aktuator pada detik ke 1500 pada total waktu simulasi yaitu 2000 detik.

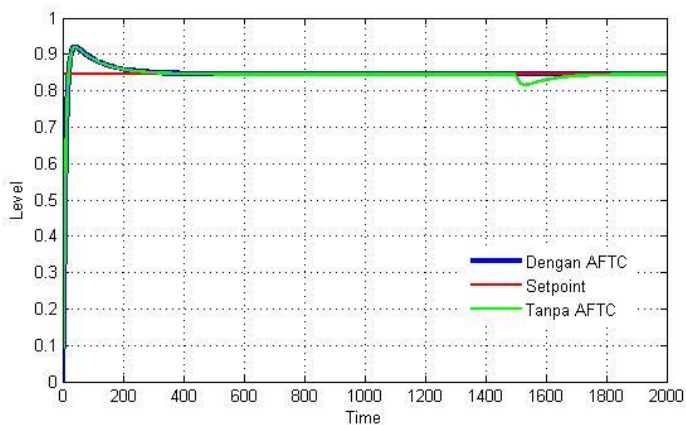
Karena tidak ada data kuantitatif dari kesalahan kebocoran maka kebocoran diasumsikan sebesar 10%, 30%, 40% dan 50% artinya laju aliran efektif dari variabel manipulasi hanya 90%, 70%, 60% dan 50%,



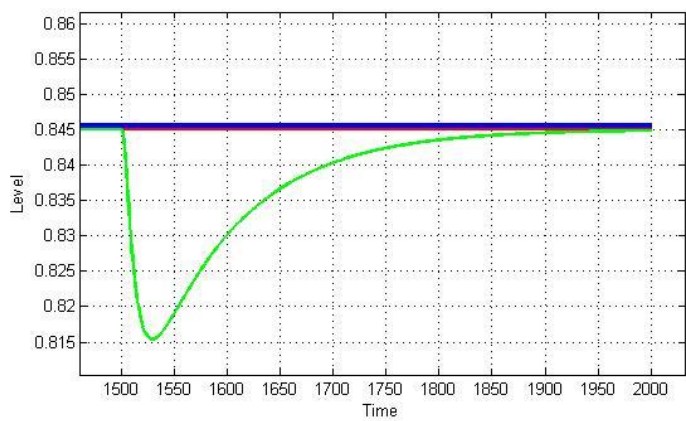
Gambar 4.5 Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 10%



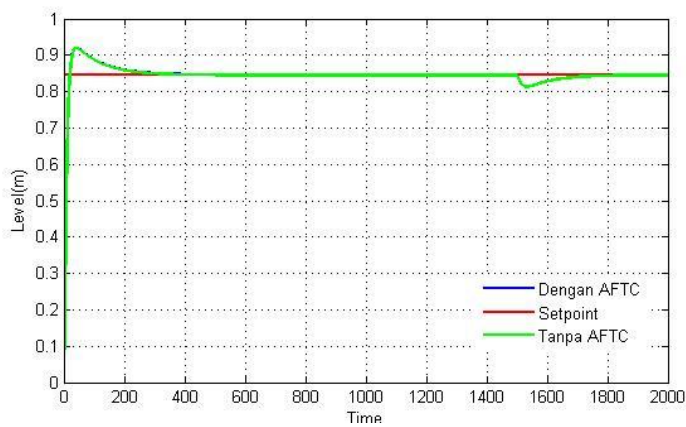
Gambar 4.6 Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 10%



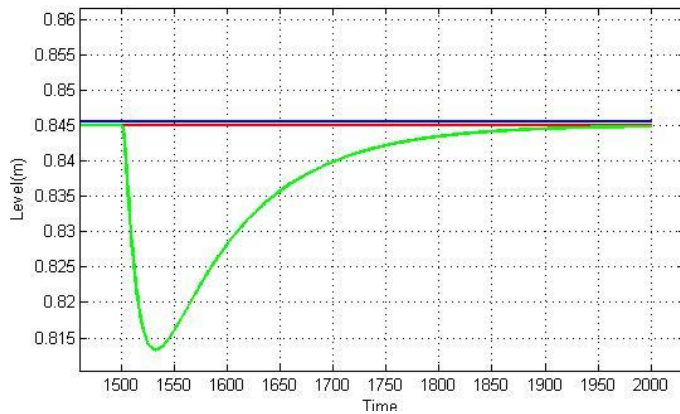
Gambar 4.7 Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 20%



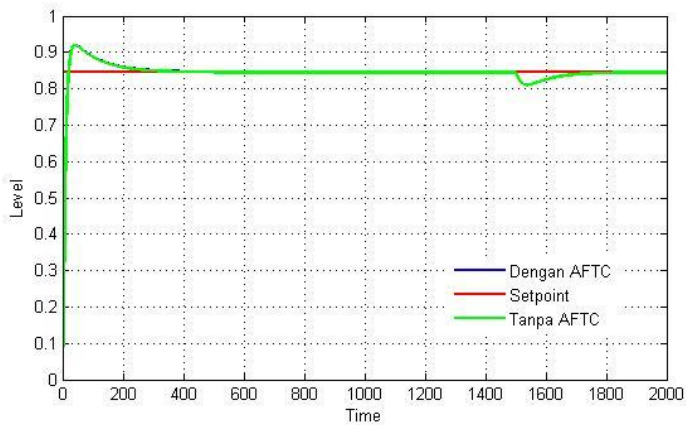
Gambar 4.8 Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 20%



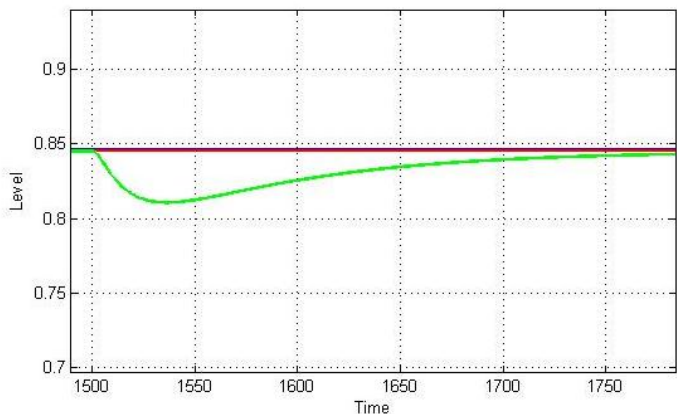
Gambar 4.9 Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 30%



Gambar 4.10 Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 30%



Gambar 4.11 Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 40%



Gambar 4.12 Perbesaran Respon Pengendalian Level dengan Kebocoran 40%

Berdasarkan gambar 4.5-4.12, didapatkan performansi kontrol pada tabel 4.3-4.6

Tabel 4. 5 Parameter Performansi dengan Kebocoran 10%

No	Parameter	PI tanpa AFTC	Dengan AFTC
1	<i>Maximum Overshoot</i>	0	0
2	<i>Maximum Undershoot</i>	3,3%	0
3	<i>Error Steady State</i>	0,17%	0,07%
4	<i>Setling Time</i>	499 s	360s
5	<i>Integral Absolute Error (IAE)</i>	4,817	0,45

Tabel 4.6 Parameter Performansi dengan Kebocoran 20%

No	Parameter	PI tanpa AFTC	Dengan AFTC
1	<i>Maximum Overshoot</i>	0	0
2	<i>Mximum Undershoot</i>	3,5%	0
3	<i>Error Steady State</i>	0,26%	0,07%
4	<i>Setling Time</i>	499 s	360s
5	<i>Integral Absolute Error (IAE)</i>	5,19	0,45

Tabel 4.7 Parameter Performansi dengan Kebocoran 40%

No	Parameter	PI tanpa AFTC	Dengan AFTC
1	<i>Maximum Overshoot</i>	0	0
2	<i>Maximum Undershoot</i>	3,7%	0
3	<i>Error Steady State</i>	0,16%	0,07%
4	<i>Setling Time</i>	499 s	360s
5	<i>Integral Absolute Error (IAE)</i>	5,66	0,45

Terdapat perbedaan respon antara sistem pengendali dengan AFTC dan sistem pengendali tanpa AFTC. Pada sistem pengendali tanpa AFTC terjadi *maksimum undershoot* mencapai 3.3 %, 3.5 % , 3.7% yang mana nilai tersebut masih dalam batas toleransi, Jika *maximum undershoot* terlalu tinggi sampai 58% atau puncak tertinggi *maximum undershoot* atau mencapai angka 0,35m akan menyebabkan *Low Level Alarm* yang menyebabkan

sistem *trip*. Sedangkan sistem pengendali yang AFTC tidak terjadi *maksimum undershoot*. Pada kesalahan aktuator masih membuat respon pengendalian level dari Separator akan kembali ke *setpoint* hal. Melalui kriteria *error steady state* dengan syarat 2%, didapatkan *settling time* pada sistem dengan AFTC adalah 499 detik dan sistem tanpa AFTC adalah 360 detik. Dengan demikian sistem pengendali yang dilengkapi dengan AFTC mampu mengakomodir informasi kesalahan sehingga bisa mengurangi *error* yang terjadi pada pengendalian level Separator.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengujian untuk beberapa kesalahan seperti ditunjukan pada Tabel 4.8-4.10 sebagai berikut :

Tabel 4.8 Nilai error steady state kesalahan bias pada sensor

Kesalahan Bias	Error Stedy State	
	PI tanpa AFTC	Dengan AFTC
0%	0%	0%
25%	0.19%	88376.3%
50%	0.34%	2936%
75 %	0.46%	499622%
100%	0.9%	705535.4%

Tabel 4.9 Nilai error steady state kesalahan sensitivitas pada sensor

Kesalahan Sensitivitas	Error Stedy State	
	PI tanpa AFTC	Dengan AFTC
0%	0%	0%
25%	0.08%	33.23%
50%	0.09%	99.67%
75 %	0.1%	6150.90%
100%	0.9%	46154.54%

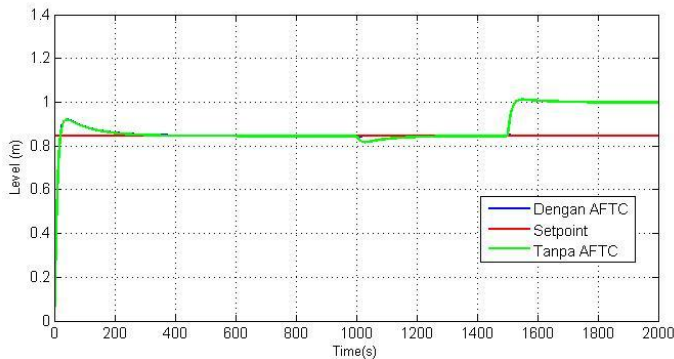
Tabel 4.10 Nilai error steady state kebocoran alahan kebpa aktuator

Kesalahan Kebocoran	Error Stedy State	
	PI tanpa AFTC	Dengan AFTC
0	0 %	0%
10%	0.006 %	0.0006 %
30%	0.033%	0.0025%
50 %	0.3 %	0.124 %
100%	~	~

Dari tabel 4.8-4.10 dapat dilihat bahwa semakin besar kesalahan yang diberikan maka nilai error steady state yang didapat akan semakin besar. Pada kesalahan aktuator apabila terjadi kebocoran 100% atau kebocoran penuh AFTC tidak mampu mengkompensasi kesalahan tersebut dikarenakan aktuator sudah tidak dapat berfungsi.

4.3 Uji Performansi Kesalahan Sensor dan Aktuator

Kesalahan sensor dan aktuator yang diujikan pada sistem secara bersamaan, Pengujian kesalahan sensor menggunakan nilai deviasi maksimal pada data kalibrasi *level transmitter* yakni sebesar 7.8 % sedangkan pengujian aktuator dibuat dengan kesalahan sebesar 10% kebocoran. Kesalahan sensor dibuat pada detik 1500 dan kesalahan aktuator dibuat pada detik ke 1000.

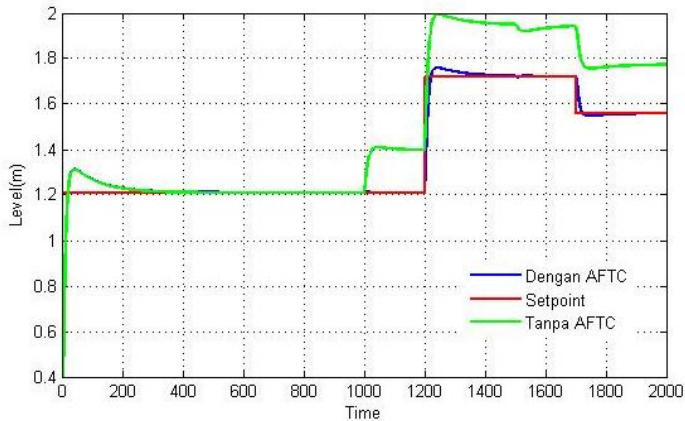


Gambar 4.13 Respon Pengendalian Level dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%

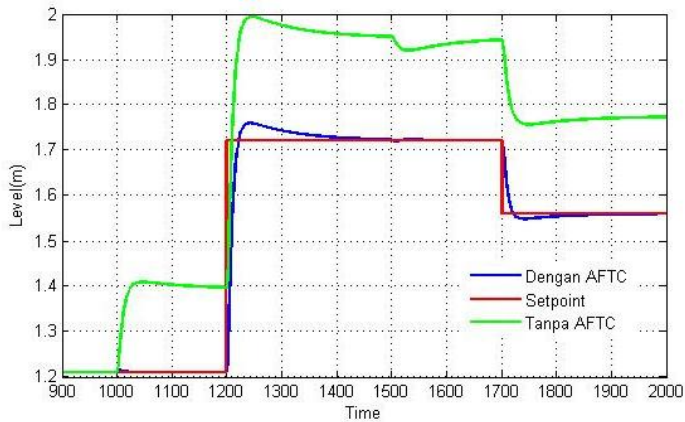
Uji performansi kesalahan sensor dan aktuator menunjukkan bahwa sistem dengan algoritma AFTC mampu mengkompensasi kesalahan sensor dan aktuator dengan baik yang tetap terjaga pada set point meskipun terdapat osilasi yang kecil pada kesalahan aktuator, sedangkan pada pengendalian PI tidak mampu mengkompensasi kesalahan hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.13 bahwa respon memiliki maksimum overshoot dan respon menjauhi set point.

4.4 Uji *Tracking* Kesalahan Sensor dan Aktuator

Pengujian terakhir adalah dengan menggunakan pengujian *tracking setpoint* uji ini digunakan untuk melihat kemampuan dari sistem kontrol untuk melakukan kompensasi seiring dengan perubahan *setpoint*, *setpoint* dirubah pada detik 1200 untuk *setpoint* naik menjadi 0.86, dan pada detik 1700 turun menjadi 0.7, diikuti dengan kesalahan aktuator berupa variasi kesalahan sensor dan aktuator dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% pada detik ke 1000 dan Kebocoran 10% pada detik ke 1500.



Gambar 4.14 Respon *Tracking* Pengendalian Level dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%



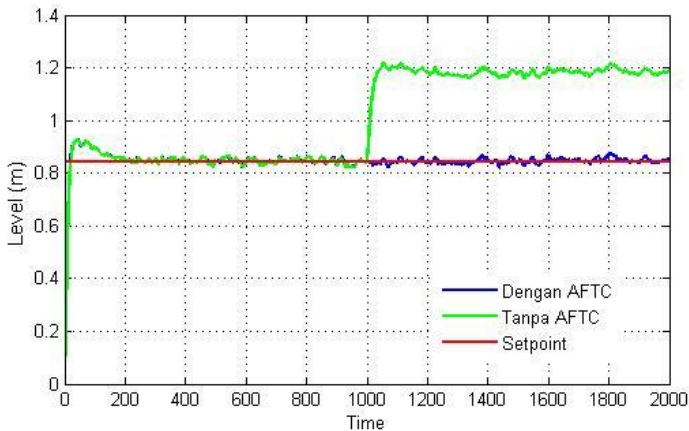
Gambar 4.15 Perbesaran Respon *Tracking* Pengendalian Level dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%

Pada uji *tracking setpoint* yang ditunjukkan pada gambar 4.14-4.15 dapat dilihat bahwa Algoritma AFTC mampu menoleransi kesalahan sensor dan aktuator yang diberikan pada saat *tracking*

setpoint, algoritma AFTC dengan variabel ini mampu kembali ke titik nominalnya walaupun diberikan perubahan *setpoint* secara naik dan turun dengan performansi respon yang baik, berbeda dengan pengendalian level dengan kontrol PI memiliki respon menjauhi set point yang telah ditentukan.

4.5 Uji Noise

Uji *noise* ini dilakukan untuk bisa mengetahui seberapa besar nilai *noise* yang dapat diberikan terhadap algoritma fault tolerant control saat terjadinya kesalahan. Pengujian dilakukan secara simulasi dengan memberikan gangguan *noise* pada hasil sistem pengukuran. *Noise* yang diberikan berdasarkan data pengukuran *level transmitter* yang didapatkan nilai standar deviasinya yaitu sebesar 0.027 m, nilai ini kemudian di kuadratkan yang merupakan nilai *variance* sebagai gangguan yang diberikan pada *level transmitter*. *Noise* yang diberikan pada simulasi bertipe *Gaussian noise* dengan *mean* sebesar 0 dan *variance* sebesar 0.0073 m, sehingga sinyal output dari sistem mengandung *noise*. Hasil respon sistem pengendalian *level* dapat dilihat pada gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.16 Respon Uji *Noise* Pengendalian *Level* dengan Sensitivitas 92,2%, Bias -0,5% dan Kebocoran 10%

Gambar 4.16 menunjukkan respon sistem pengendalian *level* dengan algoritma *active fault tolerant control* dengan *noise* yang diberikan terhadap sistem bahwa saat diberikan uji *noise* dengan *variance* sebesar 0.0073 m, algoritma *active fault tolerant control* tetap bisa mengakomodasi kesalahan berupa *noise* tersebut untuk kembali menuju pada keadaan nominalnya atau *setpoint*nya. Sedangkan pada respon sistem kontrol temperatur yang tidak menggunakan algoritma *active fault tolerant control*, tidak akan mencapai kondisi mantapnya atau tidak akan memenuhi *setpoint* yang diinginkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis data yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan dari tugas akhir Perancangan Active Fault Tolerant Control pada Sistem Pengendalian Level Separator di Petronas Muriah Ltd Dengan Kesalahan Sensor dan Aktuator didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada perancangan algoritma sistem AFTC telah dilakukan simulasi dan penerapan secara langsung *observer* untuk dapat mengestimasi kesalahan dan *reconfigurable control* untuk mengakomodasi kesalahan yang terjadi. Sistem AFTC mampu mengakomodasi kesalahan yang terjadi pada aktuator dan sensor dibanding dengan sistem tanpa AFTC
2. Performansi yang didapatkan untuk system yang menggunakan AFTC dengan settling time 466s dan error steady state 0.07%.

5.2. Saran

Dalam proses tugas akhir ini terhadap beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah:

- a. Dalam skala industri, AFTC dapat digunakan sebagai suatu sistem keamanan yang juga dapat meningkatkan keandalan suatu komponen untuk meningkatkan produktivitas kinerja dari suatu sistem.
- b. Perlu adanya AFTC dengan pengendalian secara integrasi antara pengendalian level dan tekanan.

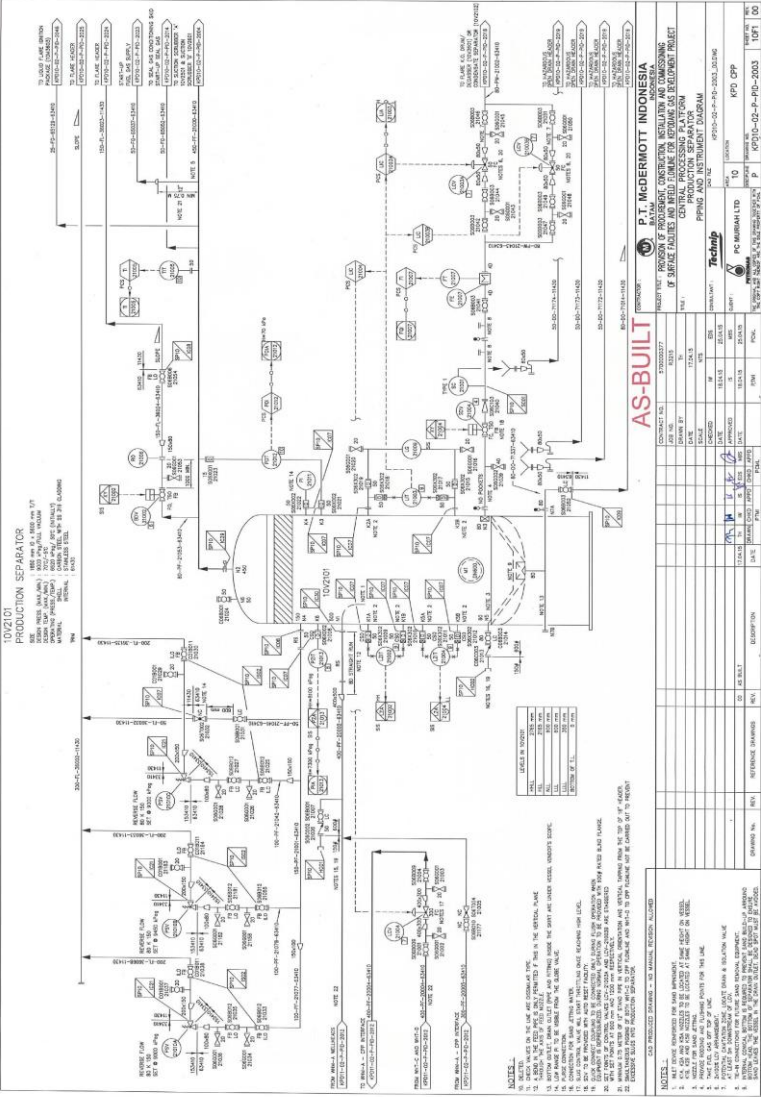
Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Indriawati, K., Agustinah., T., & Jazidie, A. (2015). Robust Fuzzy Observer-Based Fault Tolerant Tracking Control for Nonlinear Systems with Simultaneous Actuator and Sensor Faults: Application to a DC Series Motor Speed Drive. *nternational Review on Modelling and Simulations (IREMOS)*, 410-417.
- Indriawati, K., Agustinah, T., & Jazidie, A. (2015). Reconfigurable Controller Based on Fuzzy Descriptor Observer for Nonlinear Systems with Sensor Faults. *Applied Mechanics and Materials*, 59-62.
- Untoro, E., & Suparno. (2013). Evaluasi Diameter Separator Terhadap Keberhasilan Pemisahan Gas -Cairan, studi Kasus Separator di Pabrik LPG Babelan. *Instrumentasi* , 26-21.
- Wang, S. (2000). *DYNAMIC SIMULATION, EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND CONTROL SYSTEM DESIGN OF GAS-LIQUID CYLINDRICAL CYCLONE SEPARATORS*. Tulsa, Oklahoma, Amerika Serikat.
- Adeniyi , O. D. (2006). Development Of Model and Simulation of a Two Phase, Gas-Liquid Horizontal Separator. *engginer*, 10-11.
- Budiman, R., Lelono, B., & Indriawati, K. (2014). Perancangan Active Tolerant Control pada Penampung Steam Kondesat di PT Badak Bontang NGL Kalimantan Timur dengan Kesalahan pada Sensor.
- Gao, Zhiwei; Wang, Hong;. (2005). Descriptor Observer Approaches For Multivariable Systems With

- Measurement Noises And Application In Fault Detection And Diagnosis. *ELSEVIER*(55), 304-313.
- Indriawati, K., Agustinah, T., & Jazidie, A. (2013). Reconfigurable Fault -Tolerant Control of Linear System with Actuator and Sensor Faults.
- Luzar, M., & Witczak, M. (-). Development of a Fault-Tolerant Control with MATLAB . *Engineer*, -.
- Rubiandini, R. (2001). *Peralatan Eksplorasi Minyak* . Bandung : Press ITB.
- Zhang, Y. (2008). Bibliographical Review on Configurable Fault Tolerant Control. *Annals Review in controls*, 229-252.
- Zhang, Youmin; Jiang, Jin;. (2008). Bibliographical Review on Reconfigurable Fault-Tolerant Control System. *ELSEVIER*, 229-252.

P&ID SEPARATOR PETRONAS MURIAH LTD



LAMPIRAN B

Data Pengukuran Level Separator Pada Tanggal 20 November 2016 di Petronas Muriah Ltd.

Time	10LIC21003B.DACA	10LIC21003B.PIDA
8:00:00 PM	35	31.97
7:00:00 PM	35	32.09
6:00:00 PM	35	32.25
5:00:00 PM	35	32.39
4:00:00 PM	35	32.46
3:00:00 PM	35	32.62
2:00:00 PM	35	32.59
1:00:00 PM	35	32.59
12:00:00 PM	35	32.42
11:00:00 AM	35	32.07
10:00:00 AM	35	31.95
9:00:00 AM	35	31.57
8:00:00 AM	35	31.58

7:00:00 AM	35	31.61
6:00:00 AM	35	31.46
5:00:00 AM	35	31.36
4:00:00 AM	35	31.41
3:00:00 AM	35	31.48
2:00:00 AM	35	31.48
1:00:00 AM	35	31.55
12:00:00 AM	35	31.67
11:00:00 PM	35	31.64
10:00:00 PM	35	31.61
9:00:00 PM	35	31.56
8:00:00 PM	35	31.62
7:00:00 PM	35	31.5
6:00:00 PM	35	31.67
5:00:00 PM	35	31.82
4:00:00 PM	35	32.11
3:00:00 PM	35	31.87
2:00:00 PM	35	31.8

1:00:00 PM	35	31.87
12:00:00 PM	35	32.02
11:00:00 AM	35	32.1
10:00:00 AM	35	32.14
9:00:00 AM	35	32.04
8:00:00 AM	35	32.19
7:00:00 AM	35	32.31
6:00:00 AM	35	32.19
5:00:00 AM	35	31.9
4:00:00 AM	35	31.86
3:00:00 AM	35	31.94
2:00:00 AM	35	31.98
1:00:00 AM	35	31.75
12:00:00 AM	35	31.81
11:00:00 PM	35	31.95
10:00:00 PM	35	31.8
9:00:00 PM	35	31.91
8:00:00 PM	35	32.03

7:00:00 PM	35	32.12
6:00:00 PM	35	32.15
5:00:00 PM	35	32.3
4:00:00 PM	35	32.53
3:00:00 PM	35	32.72
2:00:00 PM	35	32.9
1:00:00 PM	35	32.93
12:00:00 PM	35	33.05
11:00:00 AM	35	33.22
10:00:00 AM	35	33.11
9:00:00 AM	35	32.95
8:00:00 AM	35	33.06
7:00:00 AM	35	33.07
6:00:00 AM	35	33.15
5:00:00 AM	35	33.34
4:00:00 AM	35	33.51
3:00:00 AM	35	33.66
2:00:00 AM	35	33.85

1:00:00 AM	35	34.04
12:00:00 AM	35	34.13
11:00:00 PM	35	34.13
10:00:00 PM	35	34.15
9:00:00 PM	35	34.4
8:00:00 PM	35	34.3
7:00:00 PM	35	34.51
6:00:00 PM	35	34.52
5:00:00 PM	35	34.67
4:00:00 PM	35	34.57
3:00:00 PM	35	34.79
2:00:00 PM	35	34.78
1:00:00 PM	35	34.77
12:00:00 PM	35	34.82
11:00:00 AM	35	34.93
10:00:00 AM	35	35
9:00:00 AM	35	35.06
8:00:00 AM	35	34.88

7:00:00 AM	35	35
6:00:00 AM	35	35.03
5:00:00 AM	35	35.04
4:00:00 AM	35	34.76
3:00:00 AM	35	35.1
2:00:00 AM	35	34.96
1:00:00 AM	35	34.95
12:00:00 AM	35	34.95
11:00:00 PM	35	35.08
10:00:00 PM	35	34.87
9:00:00 PM	35	35
8:00:00 PM	35	35.01
7:00:00 PM	35	34.99
6:00:00 PM	35	35
5:00:00 PM	35	35
4:00:00 PM	35	35
3:00:00 PM	35	35.08
2:00:00 PM	35	34.92

1:00:00 PM	35	35.06
12:00:00 PM	35	34.77
11:00:00 AM	35	34.18
10:00:00 AM	35	35.13
9:00:00 AM	35	34.97
8:00:00 AM	35	35.07
7:00:00 AM	35	34.73
6:00:00 AM	35	34.79
5:00:00 AM	35	34.95
4:00:00 AM	35	34.97
3:00:00 AM	35	35.08
2:00:00 AM	35	34.8
1:00:00 AM	35	34.91
12:00:00 AM	35	34.93
11:00:00 PM	35	35.01
10:00:00 PM	35	35.05
9:00:00 PM	35	35
8:00:00 PM	35	34.95

7:00:00 PM	35	35.06
6:00:00 PM	35	34.86
5:00:00 PM	35	35.11
4:00:00 PM	35	34.91
3:00:00 PM	35	34.95
2:00:00 PM	35	34.96
1:00:00 PM	35	35.01
12:00:00 PM	35	34.99
11:00:00 AM	35	34.99
10:00:00 AM	35	35.01
9:00:00 AM	35	34.99
8:00:00 AM	35	35
7:00:00 AM	35	35.01
6:00:00 AM	35	34.93
5:00:00 AM	35	35.06
4:00:00 AM	35	35
3:00:00 AM	35	35.08
2:00:00 AM	35	34.89

1:00:00 AM	35	34.49
12:00:00 AM	35	33.97
11:00:00 PM	35	35.38
10:00:00 PM	35	34.7
9:00:00 PM	35	33.96
8:00:00 PM	35	33.25
7:00:00 PM	35	32.58
6:00:00 PM	35	32.48
5:00:00 PM	35	32.51
4:00:00 PM	35	32.59
3:00:00 PM	35	32.7
2:00:00 PM	35	32.99
1:00:00 PM	35	33.14
12:00:00 PM	35	33.3
11:00:00 AM	35	33.54
10:00:00 AM	35	33.55
9:00:00 AM	35	33.86
8:00:00 AM	35	34

7:00:00 AM	35	34.07
6:00:00 AM	35	35.37
5:00:00 AM	35	34.36
4:00:00 AM	35	32.78
3:00:00 AM	35	31.37
2:00:00 AM	35	30.07
1:00:00 AM	35	28.76
12:00:00 AM	35	27.47
11:00:00 PM	35	26.31
10:00:00 PM	35	25.21
9:00:00 PM	35	24.24
8:00:00 PM	35	23.67
7:00:00 PM	35	23.59
6:00:00 PM	35	23.7
5:00:00 PM	35	23.89
4:00:00 PM	35	24.06
3:00:00 PM	35	24.09
2:00:00 PM	35	24.22

1:00:00 PM	35	24.31
12:00:00 PM	35	24.3
11:00:00 AM	35	24.21
10:00:00 AM	35	24.15
9:00:00 AM	35	24.04
8:00:00 AM	35	24.04
7:00:00 AM	35	24.22
6:00:00 AM	35	24.36
5:00:00 AM	35	24.45
4:00:00 AM	35	24.48
3:00:00 AM	35	24.55
2:00:00 AM	35	24.51
1:00:00 AM	35	24.31
12:00:00 AM	35	24.03
11:00:00 PM	35	23.92
10:00:00 PM	35	23.77
9:00:00 PM	35	23.69
8:00:00 PM	35	23.47

7:00:00 PM	35	23.24
6:00:00 PM	35	23.17
5:00:00 PM	35	22.98
4:00:00 PM	35	22.78
3:00:00 PM	35	22.47
2:00:00 PM	35	22.12
1:00:00 PM	35	21.66
12:00:00 PM	35	21.44
11:00:00 AM	35	21.09
10:00:00 AM	35	20.86
9:00:00 AM	35	20.97
8:00:00 AM	35	20.98
7:00:00 AM	35	21.06
6:00:00 AM	35	21.14
5:00:00 AM	35	21.27
4:00:00 AM	35	21.33
3:00:00 AM	35	21.51
2:00:00 AM	35	21.56

1:00:00 AM	35	21.62
12:00:00 AM	35	21.6
11:00:00 PM	35	21.6
10:00:00 PM	35	21.67
9:00:00 PM	35	21.73
8:00:00 PM	35	21.7
7:00:00 PM	35	21.8
6:00:00 PM	35	21.85
5:00:00 PM	35	21.97
4:00:00 PM	35	22.06
3:00:00 PM	35	22.24
2:00:00 PM	35	22.38
1:00:00 PM	35	22.5
12:00:00 PM	35	22.56
11:00:00 AM	35	22.6
10:00:00 AM	35	22.64
9:00:00 AM	35	22.58
8:00:00 AM	35	22.46

7:00:00 AM	35	22.38
6:00:00 AM	35	22.42
5:00:00 AM	35	22.48
4:00:00 AM	35	22.39
3:00:00 AM	35	22.3
2:00:00 AM	35	22.31
1:00:00 AM	35	22.22
12:00:00 AM	35	22.27
11:00:00 PM	35	22.41
10:00:00 PM	35	22.33
9:00:00 PM	35	22.59
8:00:00 PM	35	22.82
7:00:00 PM	35	23.06
6:00:00 PM	35	23.29
5:00:00 PM	35	23.66
4:00:00 PM	35	24.13
3:00:00 PM	35	24.58
2:00:00 PM	35	24.99

1:00:00 PM	35	25.32
12:00:00 PM	35	25.66
11:00:00 AM	35	25.76
10:00:00 AM	35	26.02
9:00:00 AM	35	26.36
8:00:00 AM	35	26.71
7:00:00 AM	35	26.82
6:00:00 AM	35	26.84
5:00:00 AM	35	26.94
4:00:00 AM	35	27.03
3:00:00 AM	35	27.18
2:00:00 AM	35	27.29
1:00:00 AM	35	27.19
12:00:00 AM	35	27.23
11:00:00 PM	35	27.27
10:00:00 PM	35	27.35
9:00:00 PM	35	27.4
8:00:00 PM	35	27.57

7:00:00 PM	35	27.7
6:00:00 PM	35	27.89
5:00:00 PM	35	28.17
4:00:00 PM	35	28.23
3:00:00 PM	35	28.7
2:00:00 PM	35	29.07
1:00:00 PM	35	29.38
12:00:00 PM	35	29.68
11:00:00 AM	35	29.89
10:00:00 AM	35	30.16
9:00:00 AM	35	30.44
8:00:00 AM	35	30.71
7:00:00 AM	35	31.01
6:00:00 AM	35	31.13
5:00:00 AM	35	30.28
4:00:00 AM	35	29.12
3:00:00 AM	35	27.98
2:00:00 AM	35	26.86

1:00:00 AM	35	25.78
12:00:00 AM	35	24.49
11:00:00 PM	35	23.18
10:00:00 PM	35	21.98
9:00:00 PM	35	20.91
8:00:00 PM	35	19.8
7:00:00 PM	35	18.87
6:00:00 PM	35	17.9
5:00:00 PM	35	17.27
4:00:00 PM	35	17.46
3:00:00 PM	35	17.75
2:00:00 PM	35	18.12
1:00:00 PM	35	18.36
12:00:00 PM	35	18.52
11:00:00 AM	35	18.66
10:00:00 AM	35	18.75
9:00:00 AM	35	18.81
8:00:00 AM	35	18.76

7:00:00 AM	35	18.95
6:00:00 AM	35	19.28
5:00:00 AM	35	19.43
4:00:00 AM	35	19.56
3:00:00 AM	35	19.86
2:00:00 AM	35	20.17
1:00:00 AM	35	20.29
12:00:00 AM	35	20.42
11:00:00 PM	35	20.57
10:00:00 PM	35	20.68
9:00:00 PM	35	20.75
8:00:00 PM	35	20.91
7:00:00 PM	35	21.05
6:00:00 PM	35	21.34
5:00:00 PM	35	21.41
4:00:00 PM	35	21.81
3:00:00 PM	35	22.13
2:00:00 PM	35	22.41

1:00:00 PM	35	22.5
12:00:00 PM	35	22.56
11:00:00 AM	35	22.78
10:00:00 AM	35	23.04
9:00:00 AM	35	23.26
8:00:00 AM	35	23.38
7:00:00 AM	35	23.68
6:00:00 AM	35	23.81
5:00:00 AM	35	23.98
4:00:00 AM	35	24.21
3:00:00 AM	35	24.24
2:00:00 AM	35	24.35
1:00:00 AM	35	24.46
12:00:00 AM	35	24.48
11:00:00 PM	35	24.65
10:00:00 PM	35	24.74
9:00:00 PM	35	24.75
8:00:00 PM	35	24.9

7:00:00 PM	35	25
6:00:00 PM	35	24.96
5:00:00 PM	35	25.08
4:00:00 PM	35	25.26
3:00:00 PM	35	25.33
2:00:00 PM	35	25.53
1:00:00 PM	35	25.61
12:00:00 PM	35	25.99
11:00:00 AM	35	26.15
10:00:00 AM	35	26.21
9:00:00 AM	35	26.4
8:00:00 AM	35	26.41
7:00:00 AM	35	26.27
6:00:00 AM	35	26.05
5:00:00 AM	35	25.99
4:00:00 AM	35	26.12
3:00:00 AM	35	26.11
2:00:00 AM	35	26.03

1:00:00 AM	35	25.91
12:00:00 AM	35	25.65
11:00:00 PM	35	25.36
10:00:00 PM	35	25.21
9:00:00 PM	35	24.85
8:00:00 PM	35	24.5
7:00:00 PM	35	24.14
6:00:00 PM	35	23.66
5:00:00 PM	35	23.13
4:00:00 PM	35	22.59
3:00:00 PM	35	22.37
2:00:00 PM	35	22.62
1:00:00 PM	35	22.89
12:00:00 PM	35	23.17
11:00:00 AM	35	23.39
10:00:00 AM	35	23.61
9:00:00 AM	35	23.81
8:00:00 AM	35	23.98

7:00:00 AM	35	24.11
6:00:00 AM	35	24.4
5:00:00 AM	35	24.69
4:00:00 AM	35	23.74
3:00:00 AM	35	23.41
2:00:00 AM	35	23.21
1:00:00 AM	35	23.91
12:00:00 AM	35	24.62
11:00:00 PM	35	25.29
10:00:00 PM	35	25.52
9:00:00 PM	35	26.02
8:00:00 PM	35	26.37
7:00:00 PM	35	26.68
6:00:00 PM	35	27.02
5:00:00 PM	35	27.39
4:00:00 PM	35	27.77
3:00:00 PM	35	28.1
2:00:00 PM	35	28.45

1:00:00 PM	35	28.77
12:00:00 PM	35	29.07
11:00:00 AM	35	29.33
10:00:00 AM	35	29.57
9:00:00 AM	35	29.81
8:00:00 AM	35	30.07
7:00:00 AM	35	29.57
6:00:00 AM	35	28.56
5:00:00 AM	35	27.47
4:00:00 AM	35	26.38
3:00:00 AM	35	24.96
2:00:00 AM	35	23.87
1:00:00 AM	35	23.06
12:00:00 AM	35	22.13
11:00:00 PM	35	21.18
10:00:00 PM	35	20.25
9:00:00 PM	35	19.34
8:00:00 PM	35	18.44

7:00:00 PM	35	17.41
6:00:00 PM	35	15.36
5:00:00 PM	35	14.81
4:00:00 PM	35	14.04
3:00:00 PM	35	13.65
2:00:00 PM	35	13.33
1:00:00 PM	35	13.61
12:00:00 PM	35	14.01
11:00:00 AM	35	14.37
10:00:00 AM	35	14.7
9:00:00 AM	35	14.97
8:00:00 AM	35	15.28
7:00:00 AM	35	15.43
6:00:00 AM	35	16.03
5:00:00 AM	35	16.52
4:00:00 AM	35	16.99
3:00:00 AM	35	17.4
2:00:00 AM	35	17.77

1:00:00 AM	35	18.16
12:00:00 AM	35	18.52
11:00:00 PM	35	18.93
10:00:00 PM	35	19.39
9:00:00 PM	35	19.91
8:00:00 PM	35	20.35
7:00:00 PM	35	20.79
6:00:00 PM	35	21.22
5:00:00 PM	35	21.67
4:00:00 PM	35	22.2
3:00:00 PM	35	22.6
2:00:00 PM	35	23.01
1:00:00 PM	35	23.42
12:00:00 PM	35	23.87
11:00:00 AM	35	24.23
10:00:00 AM	35	24.65
9:00:00 AM	35	24.97
8:00:00 AM	35	25.32

7:00:00 AM	35	25.68
6:00:00 AM	35	26.01
5:00:00 AM	35	26.35
4:00:00 AM	35	26.69
3:00:00 AM	35	27.03
2:00:00 AM	35	27.37
1:00:00 AM	35	27.68
12:00:00 AM	35	27.99
11:00:00 PM	35	28.34
10:00:00 PM	35	28.7
9:00:00 PM	35	29.08
8:00:00 PM	35	29.44
7:00:00 PM	35	29.84
6:00:00 PM	35	29.99
5:00:00 PM	35	30.2
4:00:00 PM	35	30.6
3:00:00 PM	35	31.05
2:00:00 PM	35	31.53

1:00:00 PM	35	32
12:00:00 PM	35	32.52
11:00:00 AM	35	32.93
10:00:00 AM	39.93	40.46
9:00:00 AM	39.45	39.45
8:00:00 AM	38.34	38.34
7:00:00 AM	37.37	37.37
6:00:00 AM	36.28	36.28
5:00:00 AM	35.31	35.31
4:00:00 AM	34.44	34.44
3:00:00 AM	33.52	33.52
2:00:00 AM	32.6	32.59
1:00:00 AM	31.66	31.66
12:00:00 AM	30.77	30.77
11:00:00 PM	29.99	29.99
10:00:00 PM	29.24	29.24
9:00:00 PM	28.29	28.28
8:00:00 PM	25.94	25.94

7:00:00 PM	25.88	25.88
6:00:00 PM	28.35	25.46
5:00:00 PM	32	25.42
4:00:00 PM	32	25.49
3:00:00 PM	32	25.62
2:00:00 PM	32	25.82
1:00:00 PM	32	26.06
12:00:00 PM	32	26.27
11:00:00 AM	32	26.3
10:00:00 AM	32	26.02
9:00:00 AM	32	26.04
8:00:00 AM	32	26.72
7:00:00 AM	32	26.93
6:00:00 AM	32	27.03
5:00:00 AM	32	27.13
4:00:00 AM	32	27.12
3:00:00 AM	32	27.15
2:00:00 AM	32	27.56

1:00:00 AM	32	27.35
12:00:00 AM	32	27.4
11:00:00 PM	32	27.67
10:00:00 PM	32	27.96
9:00:00 PM	32	28.22
8:00:00 PM	32	28.51
7:00:00 PM	32	28.88
6:00:00 PM	32	29.22
5:00:00 PM	32	29.62
4:00:00 PM	32	30
3:00:00 PM	32	30.14
2:00:00 PM	32	30.24
1:00:00 PM	32	30.49
12:00:00 PM	32	30.63
11:00:00 AM	32	30.73
10:00:00 AM	32	30.92
9:00:00 AM	32	30.99
8:00:00 AM	32	30.98

7:00:00 AM	32	31.08
6:00:00 AM	32	31.11
5:00:00 AM	32	30.97
4:00:00 AM	32	30.89
3:00:00 AM	32	30.69
2:00:00 AM	32	30.92
1:00:00 AM	32	31.22
12:00:00 AM	32	31.02
11:00:00 PM	32	31.05
10:00:00 PM	32	31.03
9:00:00 PM	32	31.26
8:00:00 PM	32	31.13
7:00:00 PM	32	30.97
6:00:00 PM	32	31.21
5:00:00 PM	32	31.36
4:00:00 PM	32	31.61
3:00:00 PM	32	31.43
2:00:00 PM	32	31.45

1:00:00 PM	32	31.47
12:00:00 PM	32	31.71
11:00:00 AM	32	32.11
10:00:00 AM	32	32
9:00:00 AM	32	31.98
8:00:00 AM	32	31.99
7:00:00 AM	32	32.05
6:00:00 AM	32	31.96
5:00:00 AM	32	32.04
4:00:00 AM	32	31.96
3:00:00 AM	32	31.79
2:00:00 AM	32	31.94
1:00:00 AM	32	31.58
12:00:00 AM	32	32.39
11:00:00 PM	32	28.94
10:00:00 PM	32	29.08
9:00:00 PM	32	29.2
8:00:00 PM	32	29.35

7:00:00 PM	32	29.5
6:00:00 PM	32	29.64
5:00:00 PM	32	29.8
4:00:00 PM	32	30
3:00:00 PM	32	30.25
2:00:00 PM	32	30.59
1:00:00 PM	32	30.9
12:00:00 PM	32	31.3
11:00:00 AM	32	32.35
10:00:00 AM	32	31.6
9:00:00 AM	32	30.55
8:00:00 AM	32	29.47
7:00:00 AM	32	28.4
6:00:00 AM	32	27.38
5:00:00 AM	32	26.37
4:00:00 AM	32	25.38
3:00:00 AM	32	24.41
2:00:00 AM	32	23.53

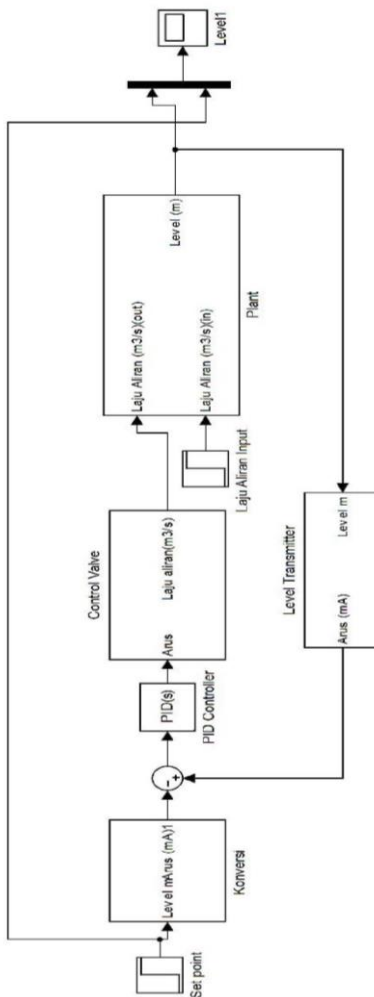
1:00:00 AM	32	22.57
12:00:00 AM	32	21.59
11:00:00 PM	32	20.61
10:00:00 PM	32	19.63
9:00:00 PM	32	18.62
8:00:00 PM	32	17.62
7:00:00 PM	32	16.64
6:00:00 PM	32	15.64
5:00:00 PM	32	14.76
4:00:00 PM	32	13.95
3:00:00 PM	32	12.99
2:00:00 PM	32	12
1:00:00 PM	32	10
12:00:00 PM	32	8.03
11:00:00 AM	32	6.72
10:00:00 AM	32	5.2
9:00:00 AM	32	3.13
8:00:00 AM	32	2.15

7:00:00 AM	32	0.54
6:00:00 AM	32	5.98
5:00:00 AM	32	6.24
4:00:00 AM	32	6.59
3:00:00 AM	32	6.97
2:00:00 AM	32	7.36
1:00:00 AM	32	7.73
12:00:00 AM	32	8.07
11:00:00 PM	32	8.37
10:00:00 PM	32	8.63
9:00:00 PM	32	8.89
8:00:00 PM	32	9.36
7:00:00 PM	32	9.71
6:00:00 PM	32	10.08
5:00:00 PM	32	10.48
4:00:00 PM	32	10.94
3:00:00 PM	32	11.32
2:00:00 PM	32	11.73

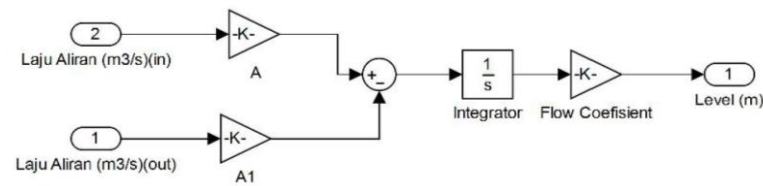
1:00:00 PM	32	12.1
12:00:00 PM	32	12.51
11:00:00 AM	32	12.93

LAMPIRAN C HASIL PERANCANGAN

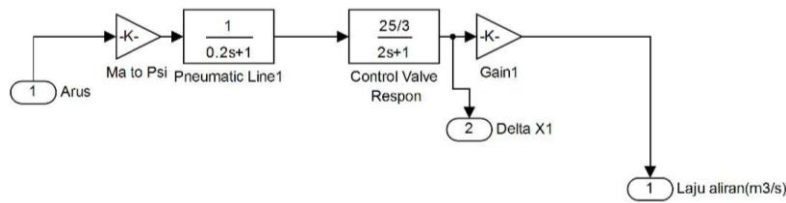
C.1 Simulink Matlab *Openloop*



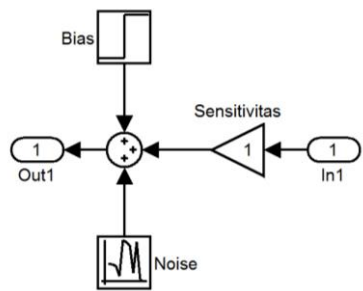
C 2 Simulink Plant

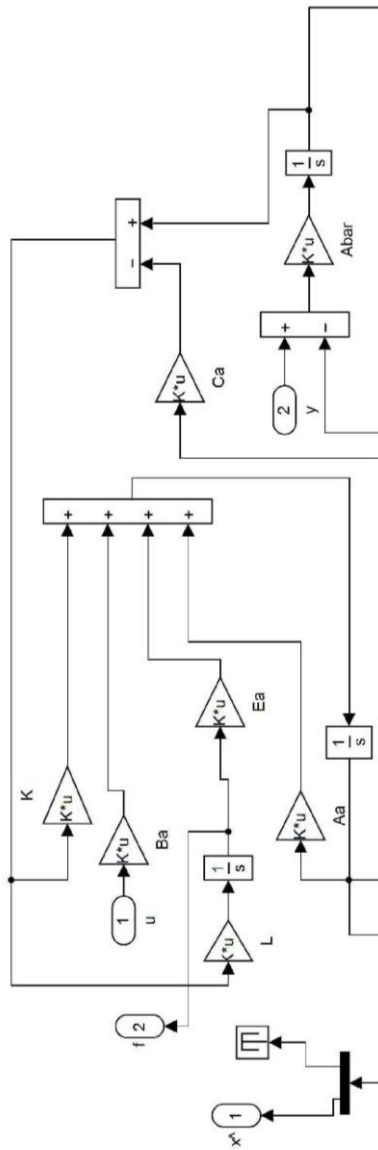


C.3 Simulink Aktuator



C.4 Simulink Matlab *Disturbance Output*



C.5 Simulink Matlab *Observer*



BIODATA PENULIS

Nama lengkap penulis adalah Citra Syarahul Walijah yang dilahirkan di Kota Lamongan pada tanggal 11 juli 1994. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Saat ini penulis tinggal di dsn tinaro desa dukuh agung tikung lamongan , Jawa Timur. Pada tahun 2006, penulis menyelesaikan pendidikan dasar di MI AL_HIDAYAH . Pada tahun 2009 penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di MTs A. Wahid Hasyim Lamongan . Pada tahun 2012 penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMA UNGGULOAN BPPT AL FATTAH LAMONGAN Pada tahun 2015, penulis mampu menyelesaikan gelar ahli madya di Program Studi DIII-Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Kemudian melanjutkan program studi Strata 1 Teknik fisika ITS Penulis berhasil menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN *ACTIVE FAULT TOLERANT CONTROL* PADA SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL SEPARATOR* DI PETRONAS MURIAH LTD DENGAN KESALAHAN PADA SENSOR DAN AKTUATOR”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini makadapat menghubungi penulis melalui citrasarahul@gmail.com atau lewat nomor telepon 085732228206.